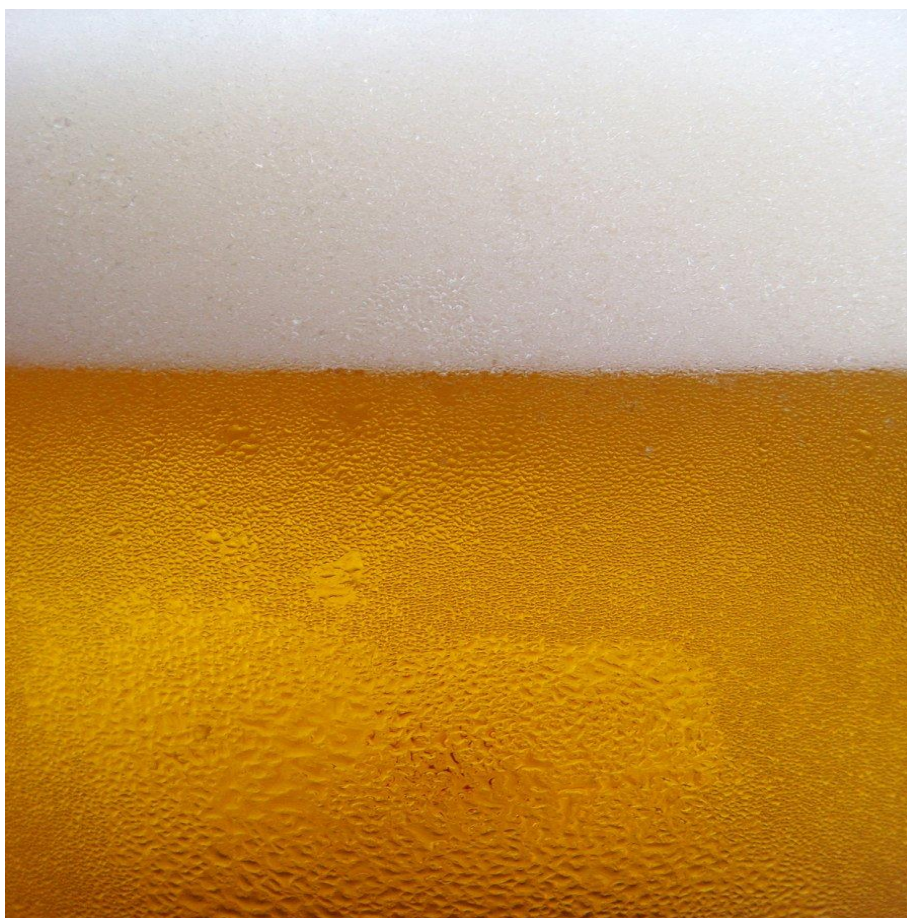


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΟΙΝΟΥ, ΑΜΠΕΛΟΥ ΚΑΙ ΠΟΤΩΝ
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΘΕΜΑ:
ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΔΙΑΤΗΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΑΦΡΟΥ ΤΗΣ ΜΠΥΡΑΣ



Φοιτητές: Γεωργικόπουλος Χάρης
Αμανατίδης Σωτήρης

Εισηγήτρια: Δέσποινα Κεχαγιά

1. Περίληψη

Στην πτυχιακή θα παρουσιαστούν διάφορες πτυχές όσο αναφορά την σταθερότητα και την διατηρησιμότητα του αφρού της μύρας. Η ανάλυση του αφρού μπορεί να γίνει και από χημικής άποψης άλλα και από φυσικής. Ουσιαστικά ο όρος αφρός της μύρας φανερώνει την διαδικασία ανόδου των φυσαλίδων στην κορυφή του συστήματος, στην συνέχεια παρατηρεί κανείς την αποστράγγιση δηλαδή την μετατροπή του αφρού σε υγρό που ομογενοποιείται με το υπόλοιπο σύστημα. Η σταθερότητα του αφρού είναι ευάλωτη καθώς μπορεί να επηρεαστεί εύκολα τόσο θετικά όσο και αρνητικά από διάφορους παράγοντες όπως π.χ. βύνη, λυκίσκος, πρωτεΐνες, αλκοόλη, λίπη κατά την διάρκεια τόσο της βυνοποίησης όσο και της ζυθοποίησης. Για την μέτρηση του αφρού με το πέρασμα του χρόνου αναπτύχθηκαν μέθοδοι οι οποίες στην συνέχεια εξελίχθηκαν. Τεχνικές για την μέτρηση του αφρού όπως η μέθοδος Sigma, μέθοδος Constant, μέθοδος FCT και μέθοδος Steinfurth αντικαταστάθηκαν από τις πλέον πιο γνώστες και πιο έγκυρες τεχνικές όπως η μέθοδος Rudin και Nibem. Πιο αναλυτικά έχουν αναφερθεί οι μέθοδοι Rudin καθώς και η μέθοδος Constant πάνω στις οποίες έχει εφαρμόσει και το πειραματικό κομμάτι μετρώντας την διατηρησιμότητα σε ορισμένες ετικέτες μπυρών όπως (π.χ. McFarland, Fisher, Septem Golden Ale, Septem Pale Ale, Fix Dark, Amstel Kargo, Pilsner Urquell).

Abstact

In the dissertation, various aspects will be presented regarding the stability and sustainability of the beer foam. The analysis of the foam can be done both from a chemical point of view and from a physical one. Essentially, the term beer foam describes the process of the bubbles rising to the top of the system, then one observes the drainage, the transformation of the foam into a liquid that is homogenized with the rest of the system. The stability of the foam is vulnerable as it can be easily affected both positively and negatively by various factors such as e.g. malt, hops, proteins, alcohol, fats during both malting and brewing. To measure the foam over time, methods were developed which subsequently evolved. Foam measurement techniques such as the Sigma method, the Constant method, the FCT method and the Steinfurth method have been replaced by the most well-known and valid techniques such as the Rudin and Nibem methods. The Rudin methods as well as the Constant method have been mentioned in more detail, on which the experimental part has been applied, measuring the shelf life of certain beer labels such as (eg McFarland, Fisher, Septem Golden Ale, Septem Pale Ale, Fix Dark, Amstel Cargo, Pilsner Urquell).

Διασαφήσεις εξεταστικής επιτροπής

Οι υπογράφωντες δηλώνουμε ότι έχουμε εξετάσει τη διπλωματική εργασία με τίτλο «Σταθερότητα και Διατηρησιμότητα του αφρού της μύρας» που παρουσιάσθηκε από τους Γεωργικόπουλο Χάρη και Αμανατίδη Σωτήρη και βεβαιώνουμε ότι γίνεται δεκτή.

?

Ψηφιακή Υπογραφή Επιβλέποντα Καθηγητή (1^{ου} Μέλους Επιτροπής)	
Ψηφιακή Υπογραφή Καθηγητή (2^{ου} Μέλους Επιτροπής)	
Ψηφιακή Υπογραφή Καθηγητή (3^{ου} Μέλους Επιτροπής)	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι Γεωργικόπουλος Χάρης Βασιλείου με αριθμό μητρώου 141016 και Αμανατίδης Σωτήρης με αριθμό μητρώου 141003 φοιτητές του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Επιστημών Τροφίμων του Τμήματος Επιστημών Οίνου, Αμπέλου και Ποτών, δηλώνουμε υπεύθυνα ότι:

«Είμαστε συγγραφείς αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχαμε για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες κάναμε χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνουμε ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από εμάς αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μας, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μας ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση των πτυχίου μας».

Γεωργικόπουλος Χάρης

Αμανατίδης Σωτήρης

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- 1) Περίληψη Σελίδα 02
- 2) Εισαγωγή Σελίδα 08
- 3) Σχηματισμός Φυσαλίδων Σελίδα 12
 - 3.1 Εισαγωγή Σελίδα 12
 - 3.2 Δημιουργία Αφρού και Αποστράγγιση Σελίδα 15
 - 3.3 Συσσωμάτωση Σελίδα 18
 - 3.4 Στόχος και Προσέγγιση Σελίδα 24
 - 3.5 Πειραματικές Συσκευές Σελίδα 27
 - 3.5.i Συσκευή Πίπτουσας Μεμβράνης Σελίδα 27
 - 3.5.ii Συσκευή Wilhelmy Σελίδα 28
 - 3.5.iii Συσκευή Langmuir Σελίδα 28
 - 3.5.iv Συσκευή Υπερχείλισης Κυλίνδρου Σελίδα 29
- 4) Παράγοντες που επηρεάζουν την σταθερότητα του αφρού Σελίδα 30
 - 4.1 Εισαγωγή Σελίδα 30
 - 4.2 Σταθερότητα του Αφρού Σελίδα 31
 - 4.3 Παράγοντες Αφρού κατά την Βυνοποίηση Ζυθοποίηση Σελίδα 32
 - 4.4 Παράγοντες που επηρεάζουν θετικά τον αφρό Σελίδα 34
 - 4.5 Παράγοντες που επηρεάζουν αρνητικά τον αφρό Σελίδα 41
 - 4.6 Αντιμετώπιση προβλημάτων Αφρού της Μπίρας Σελίδα 45
 - 4.7 Συμπεράσματα Σελίδα 46
- 5) Μέθοδοι Μέτρησης Αφρού Σελίδα 47
 - 5.1 Εισαγωγή Σελίδα 47
 - 5.2 Μέθοδοι Μέτρησης της Σταθερότητας του Αφρού Σελίδα 49
 - 5.2.i Μέθοδος Sigma Σελίδα 49
 - 5.2.ii Μέθοδος Constant Σελίδα 50
 - 5.2.iii Μέθοδος μέτρησης του χρόνου κατάρρευσης του αφρού (FCT)
Σελίδα 51
 - 5.2.iv Μέθοδος Steinfurth (FST) Σελίδα 52
 - 5.2.v Μέθοδος Nibem Σελίδα 52
 - 5.2.vi Μέθοδος Rudin Σελίδα 54
 - 5.3 Μέθοδος Rudin Σελίδα 56
 - 5.3.i Εισαγωγή Σελίδα 56
 - 5.3.ii Πειραματικό Μέρος (Rudin) Σελίδα 58
- 6) Πειραματικό Μέρος Constant Σελίδα 61
 - 6.1 Απαραίτητος Εξοπλισμός Σελίδα 61
 - 6.2 Πορεία Πειράματος Σελίδα 62
 - 6.3 Πίνακας Αποτελεσμάτων Σελίδα 63
 - 6.4 Στατιστική Ανάλυση Αποτελεσμάτων – Γραφικές Παραστάσεις και Σχολιασμός
..... Σελίδα 66

6.5 Οπτική Παρατήρηση και Σχολιασμός Σελίδα 103
6.6 Συμπεράσματα Σελίδα 109

7) Βιβλιογραφία – Πηγές Σελίδα 67

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πρώτη εικόνα που έρχεται στο μυαλό του καταναλωτή στο άκουσμα της λέξης «μπίρα» είναι ο συνδυασμός της απόχρωσης του υγρού μέρους της (συνήθως χρυσό, αλλά και κόκκινο, μαύρο κλπ), του αφρού καθώς και της μεταξύ τους αναλογίας ή και «διαμάχης» για την τελική επικράτηση μέσα στο ποτήρι.



Η εμφάνιση παίζει ίσως τον σημαντικότερο ρόλο σε κάθε τι νέο που παρατηρούμε, καθώς είναι το πρώτο σημάδι που θα μας δημιουργήσει την έλξη προς αυτό, ή που θα μας προϊδεάσει αρνητικά και ίσως να μας απωθήσει από αυτό. Έτσι λοιπόν και ένας αφρός μιας μπύρας, από τον τρόπο που θα σχηματιστεί «σκαρφαλώνοντας» στο ποτήρι μας μέχρι και τον ρυθμό ισοπέδωσης του, θα μπορούσε εύκολα να δημιουργήσει το πρώτο αλλά και μεταγενέστερα συναισθήματα, που αργότερα αφού γευτεί ο καταναλωτής την μπύρα, θα προστεθούν στην συνολική του εντύπωση που θα σχηματίσει για το εκάστοτε προϊόν.

Ο ρόλος και η συμβολή του αφρού δεν περιορίζονται μόνο στην όψη αλλά και στην γεύση. Η κατανάλωση μιας γουλιάς από την μπύρα εμπεριέχει γευστικά στοιχεία του αφρού, που γίνονται αντιληπτά στο ευρύ καταναλωτικό κοινό, όπως η ομαλή ή παχιά υφή που θα προσθέσει στο γευστικό σύνολο. Η κρεμώδης αυτή ή και αφράτη αίσθηση που θα μας

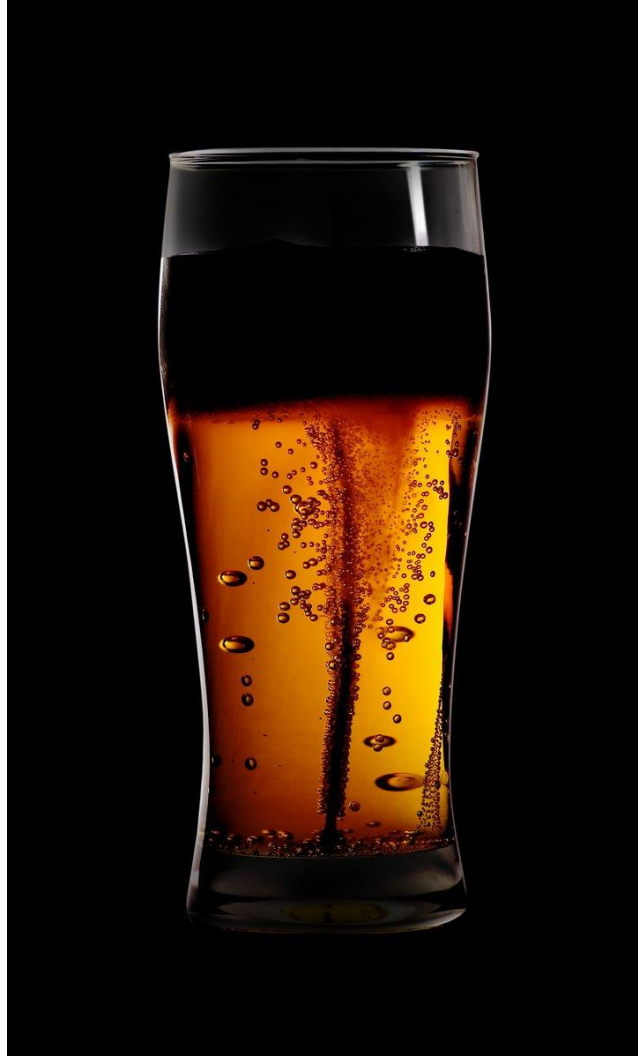
χαρίσει ο αφρός, είναι ικανή να αλλάξει σε μεγάλο βαθμό την αντίληψη για την εκάστοτε μπίρα «μαλακώνοντας» τον ουρανίσκο.

Ο αφρός της μπίρας δεν γεννιέται μόνος του, δεν προϋπάρχει σε ένα μπουκάλι στο ράφι για παράδειγμα, ωστόσο βρίσκεται μέσα στην μπίρα περιμένοντας κάτι ή κάποιον να προκαλέσει την δημιουργία του. Πιο συγκεκριμένα η «αφορμή» που περιμένει ο αφρός σαν ένα πράσινο φως που θα σηματοδοτήσει την αναγέννησή του είναι μια ανάδευση, το άδειασμα σε ένα ποτήρι καθώς και η παρουσία των θέσεων πυρήνωσης (π.χ. γρατζουνιές στο γυαλί). Αυτές οι γρατζουνιές υφίστανται με σκοπό να προάγουν την διάλυση του διοξειδίου του άνθρακα.



Στην πραγματικότητα όταν αναφέρεται κάνεις στον αφρό και την δημιουργία του, θα πρέπει να έχει στο μυαλό του πως πρόκειται για μια περίπλοκη διαδικασία εντός της οποίας περιλαμβάνεται η αλληλεπίδραση μεταξύ διαφόρων χημικών ειδών. Οι φυσαλίδες που εν συνεχεία θα σχηματίσουν τον αφρό είναι συνδεδεμένες αλληλένδετα με την ύπαρξη

του CO₂, το οποίο είναι το «μαγικό συστατικό» που υπάρχει διαλυμένο μέσα στην μπίρα. Ωστόσο την στιγμή που θα συγκρουστεί η μπίρα μας με την ατμοσφαιρική πίεση, το CO₂ θα έχει την τάση να δραπετεύσει.



Για κάθε μπίρα που μόλις ανοίχτηκε ισχύει ο κανόνας που θέλει να υπάρχει έκκλιση του διοξειδίου του άνθρακα, μέχρις ότου να επέλθει η ισορροπία ανάμεσα στην ποσότητα του CO₂ που θα εμπεριέχετε στην συγκεκριμένη μπίρα και στην ατμοσφαιρική πίεση (νόμος του Χένρυ). Η έκκλιση του διοξειδίου του άνθρακα πραγματοποιείται με τον σχηματισμό φυσαλίδων. Για την ακρίβεια κατά την άνοδο των φυσαλίδων του CO₂ προσκολλούνται επάνω τους πολλές υδρόφοβες ενώσεις οι οποίες προέρχονται από υπολείμματα βυνών και λυκίσκων. Τα υπολείμματα αυτά, εκτός από την προσκόλληση, σχηματίζουν και ένα προστατευτικό περίβλημα στο εξωτερικό κάθε φυσαλίδας CO₂. Αποτέλεσμα αυτών των αλληλεπιδράσεων και αλληλουχιών είναι η δημιουργία του αφρού στην κορυφή του

υγρού. Αυτό το «κεφάλι» (όπως χαρακτηρίζεται συχνά ο αφρός) θα παραμείνει εκεί για όσο θα ισχύει και θα το κρατά η επιφανειακή τάση.

Ο στόχος της αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η ανάλυση της φυσικοχημικής σύστασης του αφρού της μπίρας ώστε να αποσαφηνιστεί η φύση της. Στην συνέχεια να αναλυθούν λεπτομερώς οι παράγοντες που επηρεάζουν τόσο την δημιουργία (ποσοστιαία) του αφρού, όσο και την διατηρησιμότητα του. Τέλος θα εξεταστούν οι πιο συχνοί και διάσημοι τρόποι μέτρησης που αφορούν την ζωή του αφρού σε μία μπίρα, ενώ ένας εκ των οποίων (Μέθοδος Constant) θα χρησιμοποιηθεί και στο πειραματικό κομμάτι, όπου θα βγουν και θα σχολιαστούν συγκεκριμένα συμπεράσματα.

3. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΦΥΣΑΛΙΔΩΝ

3.1. Εισαγωγή

Αν και η διαδικασία σχηματισμού των φυσαλίδων δεν φαίνεται να επηρεάζει την αφρώδη συμπεριφορά εκ πρώτης όψεως, αυτή η επίδραση είναι αρκετά έντονη. Προσδιορίζονται πολύ σημαντικοί παράγοντες για τη συμπεριφορά του αφρού της μπίρας, όπως η σύνθεση του αερίου, το μέγεθος των φυσαλίδων, η σύνθεση της επιφάνειας των φυσαλίδων και η δομή του αφρού κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σχηματισμού των φυσαλίδων.

Γενικά, οι φυσαλίδες μπορούν να παραχθούν μέσα σε ένα υγρό :

- i. με ανακάτεμα ή μαστίγωμα (whipping),
- ii. με sparging ή με διάχυση αερίου μέσω ενός πορώδους υλικού και
- iii. μειώνοντας την πίεση ενός αερίου με κορεσμένο υγρό.

Στην τελευταία περίπτωση, το υγρό γίνεται υπερκορεσμένο ως αποτέλεσμα της απελευθέρωσης της πίεσης. Κατά συνέπεια μπορούν να πυροδοτηθούν και να καλλιεργηθούν οι φυσαλίδες.

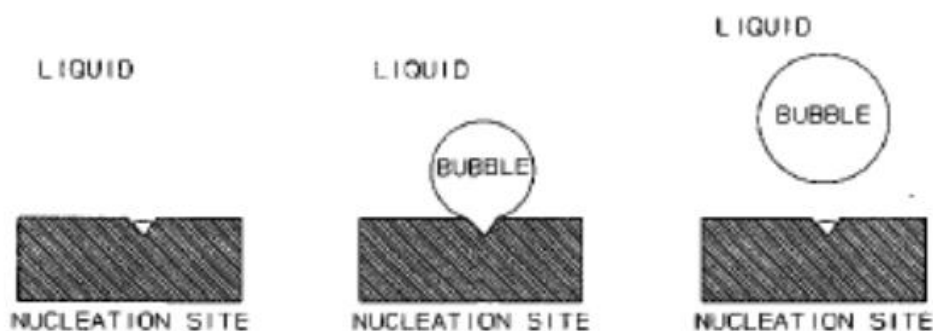
Στην μύρα, οι φυσαλίδες μπορούν να σχηματιστούν παγιδεύοντας αέρα κατά τη διάρκεια της διανομής. Ωστόσο, ο πιο σημαντικός μηχανισμός για τη δημιουργία φυσαλίδων στην μύρα είναι η πυρήνωση (nucleation) γιατί η μπίρα είναι υπερκορεσμένη με διοξείδιο του άνθρακα μετά από την απελευθέρωση της πίεσης.

Μια επισκόπηση σχετικά με την πυρήνωση των φυσαλίδων δόθηκε από τον Blander (1979) που εξήγησε ότι μπορούν να διακριθούν 2 είδη πυρήνων φυσαλίδας δηλαδή : ομοιογενής και ετερογενής πυρήνωση. Ως αποτέλεσμα της δημιουργίας μιας νέας επιφάνειας κατά τη δημιουργία του σχηματισμού φυσαλίδων πρέπει να ξεπεραστεί ένα ενεργειακό φάσμα. Για ομοιογενή πυρήνωση, δηλαδή στον αυθόρμητο σχηματισμό ενός πυρήνα φυσαλίδων, η ενέργεια φραγμού είναι υψηλή και ως εκ τούτου ομοιογενής πυρήνωση θα συμβεί μόνο σε πολύ ψηλές τιμές υπερκορεσμού. Η τιμή της πίεσης υπερκορεσμού μπορεί να εκτιμηθεί, υποθέτοντας ότι η πίεση Laplace μιας πολύ μικρής φυσαλίδας πρέπει να ξεπεραστεί κατά τη διάρκεια του σχηματισμού φυσαλίδων. Ο Walstra (1989) υπολογίζει απλώς ότι η ομοιογενή πυρήνωση δεν λαμβάνει χώρα μόνο εφόσον ο υπερκορεσμός είναι της τάξης των 108 Nm^2 (αν υποθέσουμε ότι η ελάχιστη ακτίνα για μια φούσκα είναι 1 nm και η επιφανειακή τάση είναι 50 mNm »1).

Για την μπίρα , η πίεση τέτοιας αξίας είναι αρκετά μη ρεαλιστική. Αυτό σημαίνει ότι οι φυσαλίδες δεν προέρχονται αυθόρμητα από την μπίρα, αλλά ότι συμβαίνει ετερογενής πυρήνωση. Οι φυσαλίδες αυξάνονται από μια καταλυτική περιοχή, προκειμένου να ξεπεραστεί το εμπόδιο της ενέργειας για το σχηματισμό φυσαλίδων. Αυτή η περιοχή μπορεί να είναι για παράδειγμα μια ρωγμή στο τοίχωμα ενός δοχείου, ή ένας θύλακας αερίου στο διεσπαρμένο υγρό. Οι Wardetal (1970) ανέπτυξαν μια θεωρία για τον ετερογενή σχηματισμό φυσαλίδων χρησιμοποιώντας μια γενικευμένη εξίσωση Kelvin για να περιγράψουν τη σχέση μεταξύ της πίεσης στην οποία λαμβάνει χώρα η πυρήνωση και τη συγκέντρωση του αερίου στο υγρό. Πρότειναν την έννοια της κρίσιμης ακτίνας. Η ιδέα βασίζεται στο γεγονός ότι η ακτίνα του πυρήνα πρέπει να έχει τουλάχιστον ένα ελάχιστο , κρίσιμο μέγεθος για να επιτρέψει την ανάπτυξη των φυσαλίδων. Αν η ακτίνα του πυρήνα είναι μικρότερη από εκείνη την κρίσιμη ακτίνα ο πυρήνας είναι ασταθής και θα διαλύεται ταχέως. Κατά συνέπεια η κρίσιμη ακτίνα είναι μια ασταθής ισορροπία, οριακή τιμή. Η έννοια προτάθηκε από Wardetal (1982) και διατυπώθηκαν οι προϋποθέσεις για μια δεύτερη σταθερή κρίσιμη ακτίνα. Η άλλη κρίσιμη ακτίνα είναι μεγαλύτερη από την πρώτη και είναι αποτέλεσμα του γεγονότος ότι η έννοια αναπτύχθηκε για ένα περιορισμένο όγκο του υγρού. Οι Wardetal (1983) περιέγραψαν την ανάπτυξη μιας φούσκας από έναν κωνικό λάκκο. Επιπλέον η εμφάνιση μιας φυσαλίδας συζητιέται σε σχέση με της ιδιότητες διαβροχής του υγρού και της κωνικής κοιλότητας . Οι Wardetal (1984) ανέφεραν ότι ο αριθμός των πυρήνων των φυσαλίδων μπορεί να είναι σε σταθερή ισορροπία με το υγρό αν η αξία του υπερκορεσμού είναι χαμηλή και η γωνία επαφής είναι μικρή. Οι Wardetal (1985) περιέγραψαν την εξέλιξη μιας φυσαλίδας σε ένα τελικό σταθερό μέγεθος ισορροπίας.

Πραγματοποιήθηκε πιο ποσοτική εργασία σχετικά με τον πυρήνα των φυσαλίδων από τον Wilt (1986), ο οποίος ανέφερε ένα μοντέλο για τους ομοιογενείς και ετερογενείς ρυθμούς πυρήνωσης φυσαλίδων σε ανθρακούχα ποτά. Επιβεβαιώνεται ότι ο λόγος υπερκορεσμού των ανθρακούχων ποτών θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 1000 φορές προκειμένου να επιτραπεί ομοιογενής πυρήνωση. Υπολόγισε ότι ο λόγος υπερκορεσμένου ανθρακούχου ποτού είναι περίπου 5 και ως εκ τούτου η ομοιογενής πυρήνωση είναι αδύνατη.

Ετερογενής πυρήνωση είναι πιθανό να συμβεί σε αποσυμπιεσμένα ανθρακούχα ποτά, ανάλογα με τη γωνία επαφής μεταξύ υγρού και του πυρήνα και τη μορφή αυτής της μορφής. Αναφέρει ότι ιδιαίτερα οι κοιλότητες είναι καλά σημεία πυρήνωσης. Η επίδραση της επιφανειακής τάσης φαίνεται να επιδρά στον ρυθμό ανάπτυξης των πυρήνων. Ο Νίκολας και ο Wilt (1988) επέκτειναν αυτό το μοντέλο για την περίπτωση σφαιρικής κοιλότητας. Η πειραματική μέτρηση του ρυθμού της πυρήνωσης των φυσαλίδων και της ποσότητας φυσαλίδων που σχηματίζονται ανά μονάδα χρόνου ήταν δύσκολη. Ως εκ τούτου μέχρι σήμερα δεν έχει προταθεί πειραματική επιβεβαίωση των θεωριών των πυρήνων. Οι Lubetkin και Blackwell (1988) περιγράφουν μια ακουστική μέθοδο, που επιτρέπει τη μέτρηση του ρυθμού πυρήνωσης των φυσαλίδων. Η αρχική κατανομή μεγέθους των φυσαλίδων στον αφρό εξαρτάται από τις συνθήκες κατά των σχηματισμό των φυσαλίδων. Ο ετερογενής σχηματισμός των φυσαλίδων παρουσιάζεται σχηματικά στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 3.α: Ετερογενής πυρήνωση φυσαλίδων, ανάπτυξη αποκόλλησης πυρήνα. Το σημείο πυρήνωσης διαβρέχεται από το υγρό.

Πηγή : (Beer Foam Physics, Bubble Formation, A.D. Rontelap)

Η στιγμή της αποκόλλησης της φυσαλίδας από τη θέση σχηματισμού του πυρήνα είναι όταν η << πλευστότητα >> ($\Delta\rho gV$) γίνεται μεγαλύτερη από τη συγκολλητική δύναμη (την κατακόρυφη συνιστώσα του σ^*0), όπου το $\Delta\rho$ είναι η διαφορά πυκνότητας μεταξύ του αερίου και του υγρού, g είναι βαρύτητα, V είναι ο όγκος φυσαλίδας, O είναι η περίμετρος της φυσαλίδας όπου συνδέεται με την τοποθεσία πυρήνωσης και η επιφανειακή τάση. Ως εκ τούτου, το μέγεθος των φυσαλίδων καθορίζεται κυρίως από την επιφανειακή τάση κατά τη στιγμή της αποκόλλησης της φούσκας. Η πυρήνωση και η ανάπτυξη μιας φυσαλίδας γίνεται πολύ γρήγορα. Η επιφάνεια της φούσκας διαστέλλεται ταχύτατα κατά τη διάρκεια

της ανάπτυξης της φυσαλίδας. Ως εκ τούτου, η αυξημένη επιφανειακή τάση υπό συνθήκες διαστολής είναι σημαντική.

3.2. Η Δημιουργία αφρού και η αποστράγγιση

Η δημιουργία αφρού είναι η άνοδος των φυσαλίδων στην κορυφή του συστήματος. Η αποστράγγιση είναι μετατροπή του αφρού σε υγρό που ομογενοποιείται με το υπόλοιπο σύστημα. Δεν είναι καλά προσδιορισμένο που σταματά η δημιουργία του αφρού και που ξεκινάει η αποστράγγιση. Στην πραγματικότητα, θα μπορούσε κανείς να υποστηρίξει ότι είναι η ίδια διαδικασία, αφού και οι δυο έχουν πολλά κοινά π.χ. η κύρια κινητήρια δύναμη και για τις δυο διαδικασίες είναι η βαρύτητα. Θα μπορούσε κανείς να υποστηρίξει ότι η δημιουργία αφρού σταματήσει και αρχίζει η αποστράγγιση μόλις ξεκινήσουν οι φυσαλίδες να παρεμβαίνουν και να επηρεάζουν η μία την κίνηση της άλλης. Η διαδικασία δημιουργίας αφρού μπορεί να περιγράφει με τον νόμο Strokes. Ωστόσο, αυτός ο νόμος μπορεί να εφαρμοστεί μόνο αν η επιφανειακή φυσαλίδα είναι ακίνητη και ο αριθμός Reynolds είναι χαμηλός.

Ο Van't Riet ανέλυσε το 1984 την επίδραση της κινητικότητας της επιφάνειας. Ως αποτέλεσμα της εφαιπτομενικής διάτμησης επί της επιφάνειας της ανερχόμενης φυσαλίδας, η επιφάνεια επεκτάθηκε στο άνω πολικό άκρο των φυσαλίδων και συμπίεστηκε στο κάτω μέρος τους. Κατά συνέπεια, η κλίση της επιφανειακής τάσης, η οποία είναι ένα αποτέλεσμα της παραμόρφωσης της επιφάνειας, εξουδετερώνει τη διάτμηση. Η επιφάνεια φτάνει σε μια στάσιμη κατάσταση και γίνεται λιγότερο κινητή ή ακόμα και ακίνητη. Στην τελευταία περίπτωση οι φυσαλίδες μπορούν να θεωρηθούν ως στερεά σωματίδια, όσον αφορά την άνοδο τους. Για την μύρα αυτή η κατάσταση είναι πολύ πιθανό να υφίσταται, διότι υπάρχουν αρκετά επιφανειακά ενεργά συστατικά.

Η άλλη προϋπόθεση για τον νόμο του Strokes, δηλαδή η κατάσταση του χαμηλού αριθμού Reynolds, είναι πιθανό να μην υφίσταται για την μύρα. Η διαφορά πυκνότητας μεταξύ του υγρού και του αερίου είναι υψηλή, οι φυσαλίδες είναι συγκριτικά μεγάλες, το ιξώδες της μύρας είναι χαμηλό και ως εκ τούτου ο σχηματισμός αφρού θα προχωρήσει με γρήγορους ρυθμούς. Επίσης οι φυσαλίδες μπορεί να αλληλεπιδράσουν υδροδυναμικά. Για τους λόγους αυτούς, η άνοδος των μεγαλύτερων φυσαλίδων δεν θα υπακούσει τον νόμο του Strokes.

Αποκλίσεις από τον νόμο του Strokes μπορούν επίσης να εξηγηθούν από διακυμάνσεις-μεταβολές στο μέγεθος κατά τη διάρκεια της ανόδου των φυσαλίδων. Η πίεση στο υγρό μειώνεται ως συνάρτηση του ύψους στο ποτήρι. Ως εκ τούτου ο αφρός γίνεται πιο ξηρός και οι φυσαλίδες παραμορφώνονται. Αυτό οδηγεί σε μια σειρά γεγονότων, που περιγράφεται από τον Ivanov και Jain (1979) και Wasan και Malhotra (1986) και Ivanov και Dimitrov (1989). Κατά την διάρκεια της αποστράγγισης, ο αφρός εξελίσσεται από αφρό με σφαιρικές φυσαλίδες σε αφρό με πολυεδρικές φυσαλίδες. Σε πολυεδρικό αφρό η αναρρόφηση των ορίων του οροπεδίου συμβάλλει ως κινητήρια δύναμη για την αποστράγγιση π.χ. Scheludko (1957) εκτός από την βαρύτητα. Ως συνέπεια της καμπυλότητας των συνόρων της επιφάνειας, η πίεση στο εσωτερικό των συνόρων της οροπεδίου είναι υψηλότερη από το εσωτερικό της φυσαλίδας και στο επίπεδο της μεμβράνης. Ως εκ τούτου, το υγρό θα ρέει από την μεμβράνη στα σύνορα του οροπεδίου. Εντός των ορίων της επιφάνειας αυτό το υγρό θα αποστραγγιστεί απ' τον αφρό ως αποτέλεσμα της βαρύτητας. Τα σύνορα της επιφάνειας αναρρόφησης και της βαρύτητας, αντισταθμίζονται από μια πολύπλοκη αλληλεπίδραση των επιφανειακών και ρεολογικών ιδιοτήτες. Η αποστράγγιση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το ιξώδες του υγρού της μεμβράνης. Η αργή αποστράγγιση είναι το αποτέλεσμα του υψηλού όγκου ιξώδους. Μια άλλη παράμετρος εξισορρόπησης για την αποστράγγιση μπορεί να είναι μια κλίση της επιφανειακής τάσης, η οποία οδηγείται με υγρή κίνηση Djabbarah και Wasan (1985). Ως αποτέλεσμα αυτής της κλίσης της επιφανειακής τάσης, η επιφάνεια των φυσαλίδων μπορεί να έρχεται σε μια συνολική στάση Raoetal (1982). Σε αυτή την περίπτωση, η αποστράγγιση μπορεί να περιγράψει από τη ροή του υγρού μεταξύ δύο άκαμπτων επιφανειών. Κατά συνέπεια, η ταχύτητα της αποστράγγισης επιβραδύνεται επειδή οι διατμητικές δυνάμεις επιβραδύνουν τη ροή του υγρού. Αποστράγγιση από μεμβράνες με εν μέρει κινητή επιφάνεια έχει καταγραφεί από τον Ivanov (1985). Αποστράγγιση μεμβρανών για άνισα αραιωμένες μεμβράνες έχει περιγραφεί από τους Liem και Woods (1974).

Ο ρυθμός αποστράγγισης απ' την μεμβράνη μπορεί να προσεγγιστεί με τον νόμο Reynolds (1886) για την υγρή αποστράγγιση, αν οι επιφάνειες της μεμβράνης μπορούν να περιγραφούν ως δύο κυκλικές, επίπεδες παράλληλες πλάκες πχ : $-d\theta/dt = 2\theta^3\Delta P/3\eta r^2$, οπού:

θ = πάχος της μεμβράνης

ΔP = η κινητήρια πίεση

t = χρόνος

η = το ιξώδες του υγρού φιλμ

r = η ακτίνα ενός κυκλικού επίπεδου παράλληλου μεμβράνης

Από αυτήν την εξίσωση μπορεί να γίνει ο υπολογισμός της τάξης μεγέθους της ταχύτητας αποστράγγισης της μεμβράνης. Ο χρόνος αποστράγγισης για μια επίπεδη παράλληλη μεμβράνη για να φτάσει το κρίσιμο πάχος της ρήξης μπορεί να περιγραφεί από Malysa (1980) $T_c = 3\eta A / 4\pi\theta_c^2\Delta P$ όπου

T_c = ο κρίσιμος χρόνος αποστράγγισης, δηλ. ο χρόνος για να φτάσει το κρίσιμο πάχος μεμβράνης

A = το εμβαδόν της επιφάνειας του επίπεδου παράλληλου φιλμ

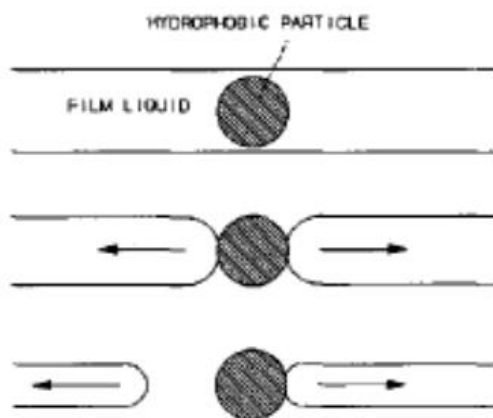
θ_c = το κρίσιμο πάχος της μεμβράνης

Η ερμηνεία του ΔP δεν είναι πάντα εύκολη. Η κινητήρια δύναμη για την αποστράγγιση μεταξύ 2 παράλληλων, οριζόντιων μεμβρανών σε έναν πολυεδρικό αφρό είναι οροπέδιο συνόρων αναρρόφησης.

3.3. Συσσωμάτωση

Η συσσωμάτωση σε αφρούς είναι η συγχώνευση δύο φυσαλίδων που προκαλείται από τη ρήξη της μεμβράνης μεταξύ τους, δηλαδή δύο μικρότερες φυσαλίδες γίνονται μία μεγαλύτερη φυσαλίδα. Έχουν προταθεί πολλοί μηχανισμοί για την συνένωση. Όλοι οι μηχανισμοί έχουν ως κοινό, ότι η συνένωση λαμβάνει χώρα, εάν το πάχος της μεμβράνης είναι χαμηλό. Στη βιβλιογραφία, η συσσωμάτωση σχετίζεται συχνά με την αποστράγγιση. Οι μεμβράνες μπορούν να στραγγίσουν σε ένα ορισμένο πάχος ισορροπίας. Όταν επιτευχθεί αυτό το πάχος ισορροπίας, η μεμβράνη μπορεί να παραμένει σε πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα. Ισορροπημένες μεμβράνες παθαίνουν ρήξη μόνο όταν το υγρό της μεμβράνης εξατμίζεται, ή όταν εμφανίζονται διαταραχές. Η ρήξη των μεμβρανών μπορεί επίσης να συμβεί σε ένα ορισμένο κρίσιμο πάχος μεμβράνης (θ_c), το οποίο είναι υψηλότερο από το πάχος της μεμβράνης ισορροπίας. Ένας πιθανός μηχανισμός για αυτή την ρήξη στο κρίσιμο πάχος μεμβράνης δίνεται από τον Vrij και Overbeek (1967).

Ανέφεραν ότι συγκριτικά παχιές μεμβράνες μπορούν να πάθουν ρήξη, ως αποτέλεσμα των αυθόρμητων διακυμάνσεων τους πάχους τους. Η ρήξη των μεμβρανών, σε υψηλότερο πάχος από το πάχος ισορροπίας, μπορεί να προκύψει ως συνέπεια των εξωτερικών επιρροών. Δύο πιθανοί μηχανισμοί, που έχουν περιγραφεί, είναι ο «μηχανισμός υδρόφοβου σωματιδίου» και ο λεγόμενος «μηχανισμός διασποράς». Ο μηχανισμός υδρόφοβου σωματιδίου έχει περιγραφεί από τους Garrett (1979), Dippenaar (1982) και Aronson (1986). Ένα μικρό υδρόφοβο σωματίδιο, τοποθετημένο σε μία υγρή μεμβράνη, μπορεί να ξεκινήσει συνένωση. Η επιφάνεια της μεμβράνης δίπλα στο σωματίδιο καμπυλώνεται ως συνέπεια των φτωχών ιδιοτήτων διαβροχής. Ως εκ τούτου, η πίεση Laplace στη μεμβράνη είναι τοπικά υψηλότερη σε σχέση με την αέρια φάση και στο τμήμα της μεμβράνης με επίπεδες επιφάνειες. Κατά συνέπεια θα υπάρχει μια βαθμίδα πίεσης στην μεμβράνη, η οποία προκαλεί το υγρό να ρέει μακριά από το σωματίδιο. Σχηματικά εμφανίζεται η ρήξη της στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 3.β: Ρήξη μεμβράνης, που ξεκίνησε από τον υδρόφοβο μηχανισμό σωματιδίων

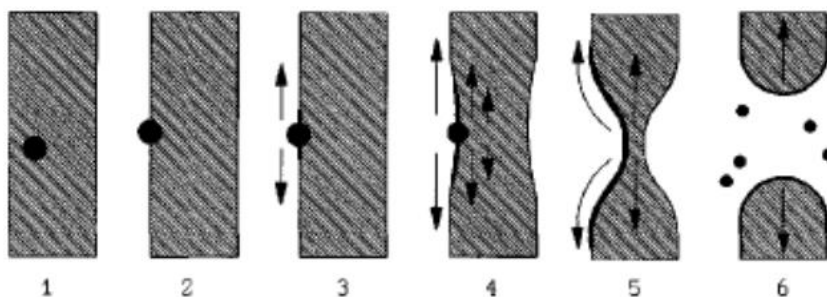
Πηγή: (Beer Foam Physics, Coalescence, A.D. Rontelap)

Σχετικά με τον μηχανισμό αυτό μπορούν να γίνουν αρκετές παρατηρήσεις: Το σωματίδιο πρέπει να τρυπηθεί μέσω δύο επιφανειών της μεμβράνης και ως εκ τούτου, η διάμετρος των υδρόφοβων σωματιδίων πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση ή μεγαλύτερη από το πάχος των φιλμ. Αν το σωματίδιο έχει διάμετρο μικρότερη από το πάχος των μεμβρανών ο μηχανισμός δεν λειτουργεί,

- i. Η γωνία επαφής του υγρού πάνω στην υδρόφοβη επιφάνεια πρέπει να είναι κοντά στις 180 μοίρες.
- ii. Η πίεση Laplace εξαρτάται από δύο ακτίνες καμπυλότητας. Η κινητήρια δύναμη δεν βασίζεται μόνο στην καμπυλότητα της μεμβράνης δίπλα στο σωματίδιο. Αυτή η καμπυλότητα μπορεί να αντισταθμιστεί από μια καμπυλότητα κάθετα προς το επίπεδο της οθόνης στο παραπάνω σχήμα. Στην περίπτωση αυτή, η πίεση σε όλη τη μεμβράνη είναι σε ισορροπία και η συσσωμάτωση δεν θα συμβεί. Για αυτό το λόγο, ο σχηματισμός οπών σε μια ταινία καθορίζεται επίσης από το σχήμα του υδρόφοβου σωματιδίου. Γενικά, τα σφαιρικά σωματίδια δεν θα προκαλέσουν συγχώνευση επειδή η ακτίνα ενός σφαιρικού σωματιδίου μπορεί να είναι ίση με τις δυο ακτίνες καμπυλότητας της μεμβράνης στην επιφάνεια των σωματιδίων. Ωστόσο ανισομετρικά υδρόφοβα σωματίδια μπορούν πολύ επιτυχώς να προκαλέσουν ρήξη της μεμβράνης,

iii. Η επιρροή της επιφάνειας τους ιξώδους σε αυτή τη διαδικασία είναι διαφορούμενη. Από τη μια πλευρά, η κίνηση του υγρού στη μεμβράνη θα προκαλέσει επιφανειακή τάση με κλίση στην μεμβράνη που αντιτίθεται στην κίνηση του υγρού (Φαινόμενο Gibbs-Marangoni). Ως εκ τούτου, το επιφανειακό ιξώδες θα επιβραδύνει την κίνηση του υγρού, αλλά η ρήξη δεν μπορεί να διακοπεί από την επιφανειακή τάση με κλίση. Από την άλλη πλευρά ωστόσο, η επιφανειακή τάση δίπλα στο σωματίδιο αυξάνεται ως συνέπεια της επέκτασης της επιφάνειας και επομένως αυξάνεται η πίεση Laplace. Αυτό μπορεί να ενισχύσει την συσσωμάτωση από τη στιγμή που η πίεση Laplace είναι η κινητήρια δύναμη για την ρήξη της μεμβράνης.

Ο δεύτερος πιθανός μηχανισμός για τη συσσωμάτωση, που προκαλείται από σωματίδια ή σταγονίδια, είναι ο «μηχανισμός διασποράς». Ο μηχανισμός αυτός περιγράφηκε για πρώτη φορά από τον Ross (1950 και 1953). Πρόσφατα, ο μηχανισμός συζητήθηκε από τον Kruglyakov (1989). Στο παρακάτω σχήμα εμφανίζεται ο μηχανισμός εξάπλωσης.



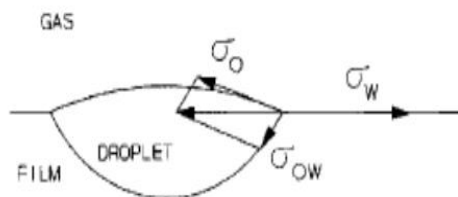
Εικόνα 3.γ: Ρήξη μεμβράνης, που ξεκινάει από τον μηχανισμό εξάπλωσης. Για λόγους σαφήνειας οι διαστάσεις της μεμβράνης ήταν υπερβολικές.

Πηγή:(Beer Foam Physics, Coalescence, A.D. Rontelap)

Αν τα μικρά σταγονίδια έρθουν στην επιφάνεια της μεμβράνης της μύρας (2), το επιφανειακά ενεργό υλικό μπορεί να εξαπλωθεί πάνω στην επιφάνεια της φυσαλίδας (3). Από τις δυνάμεις του ιξώδους το υγρό της μεμβράνης σύρεται κατά μήκος ακτινικά προς την κατεύθυνση του υλικού εξάπλωσης (4). Προκύπτει ένα λεπτό σημείο στην μεμβράνη (5). Το λεπτό σημείο μπορεί τελικά να γίνει ασταθές και μπορεί να συμβεί συσσωμάτωση (6). Η ρήξη της μεμβράνης προκαλείται μόνο από τον μηχανισμό εξάπλωσης αν τα

σταγονίδια έρθουν στην επιφάνεια της, η εξάπλωση του επιφανειοδραστικού υλικού λαμβάνει χώρα, και αρκετό υλικό εξαπλώνεται. Ως εκ τούτου υπάρχουν πολλοί σημαντικοί παράμετροι, οι οποίοι επηρεάζουν τη συσσωμάτωση από το μηχανισμό διασποράς:

- Εντός της σχετικής χρονικής κλίμακας η επιφάνεια της μεμβράνης μεταξύ του σταγονιδίου και της γύρω ατμόσφαιρας της μεμβράνη πρέπει να στραγγίσει. Ο κρίσιμος χρόνος αποστράγγισης για αυτή τη διαδικασία μπορεί να εκτιμηθεί με π.χ. όπως περιγράφεται,
- Ο μηχανισμός διασποράς λειτουργεί μόνο αν εξαπλωθεί το υλικό. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται μια απεικόνιση των συνθηκών εξάπλωσης. Για να εξαπλωθεί, η επιφανειακή τάση της μεμβράνης του υγρού (σ_w) πρέπει να είναι υψηλότερη από το συνολικό ύψος της επιφανειακής τάσης του σταγονιδίου (σ_o) και της διεπιφανειακής τάσης της μεμβράνης του υγρού και του σταγονιδίου (σ_{ow}). Για αυτό το λόγο η σύνθεση του σωματιδίου είναι σημαντική. Για τον ίδιο λόγο, οι επιφανειακές ρεολογικές πτυχές του αφρού της μύρας είναι πολύ σημαντικές. Η επιφανειακή τάση της μύρας σε έναν αφρό μπορεί να κυμαίνεται περίπου μεταξύ $9-55 \text{ mNm}^{-1}$ υπό δυναμικές συνθήκες. Η επιφανειακή τάση εξαρτάται έντονα από την παραμόρφωση της επιφάνειας της φυσαλίδας. Η εξάπλωση του επιφανειοδραστικού υλικού σε μια μεμβράνη θα κυριαρχήσει όταν είναι υψηλή η επιφανειακή τάση. Αυτό σημαίνει ότι η ρωγμή της μεμβράνης είναι πιθανότερο να συμβεί αν έχει αναπτυχθεί η επιφάνεια της μεμβράνης του αφρού.



Εικόνα 3.δ: Η κατάσταση εξάπλωσης, αν $\sigma_w > \sigma_{ow} + \sigma_o$ το επιφανειακό ενεργό υλικό θα εξαπλωθεί.

Πηγή:(Beer Foam Physics, Coalescence, A.D Rontelap)

- Το σταγονίδιο πρέπει να έχει ελάχιστο μέγεθος, προκειμένου να διατηρηθεί αρκετό υλικό διάδοσης για να προκαλέσει ρήξη της μεμβράνης. Εάν το σταγονίδιο είναι πολύ μικρό, αυτό που μπορεί να συμβεί είναι εξάπλωση αλλά η διάδοση δεν προχωρά αρκετά μακριά ώστε να σχηματιστεί μια τρύπα στην μεμβράνη. Στην περίπτωση αυτή η μεμβράνη μπορεί να αποκατασταθεί. Αυτό ισχύει μόνο για δεδομένη σύνθεση σταγονιδίων
- Η σύνθεση του σταγονιδίου είναι επίσης σημαντική για έναν άλλο λόγο από αυτόν που αναφέρθηκε πιο πάνω. Αν το σταγονίδιο δεν περιέχει αρκετό υλικό διασποράς, η εξάπλωση μπορεί να συμβεί, αλλά η μεμβράνη δεν παθαίνει ρήξη.
- Οι λεπτές μεμβράνες θα σπάσουν πιο εύκολα από τις παχιές μεμβράνες, επειδή θα πρέπει να συρθεί λιγότερο υγρό μαζί με τη στιβάδα διασποράς.
- Το ογκώδες ιξώδες της μεμβράνης του υγρού συνεισφέρει στον μηχανισμό. Σε υψηλότερο ιξώδες του υγρού της μεμβράνης, το βάθος διείσδυσης της κίνησης στην μεμβράνη αυξάνεται και η συσσωμάτωση (coalescence) θα συμβεί πιο εύκολα

Πιο προσεκτική εργασία σχετικά με αυτό το θέμα έγινε από τον Prins (1986-1988).

Υποθέτοντας ότι το σταγονίδιο εξαπλώνεται εντελώς στην επιφάνεια της μεμβράνης και ότι η ρήξη της μεμβράνης θα πραγματοποιηθεί αν το βάθος διείσδυσης (ρ) της εξάπλωσης της κίνησης είναι μεγαλύτερο από ότι το πάχος της μεμβράνης, το βάθος της διείσδυσης μπορεί να προσδιοριστεί με π.χ.

$\rho = R(\eta^2 / \sigma_e d \rho)^{1/3}$, όπου:

- R είναι η αρχική ακτίνα του σταγονιδίου,
- T είναι το ιξώδες της υγρής μεμβράνης ,
- $\sigma_e (= \sigma_w - (\sigma_w + \sigma_o))$ είναι η τάση εξάπλωσης,
- d είναι το πάχος του στρώματος διασποράς και ρ είναι η πυκνότητα του υγρού της μεμβράνης.

Αυτή η εξίσωση δείχνει ότι, με την αύξηση του ιξώδους του υγρού της μεμβράνης, το βάθος διείσδυσης αυξάνεται και έτσι αυξάνεται και η πιθανότητα του να συμβεί η ρήξη της μεμβράνης. Η συσσωμάτωση σε σχετικά παχιές μεμβράνες μπορεί να μελετηθεί με τη βοήθεια μιας συσκευής πτώσης της μεμβράνης όπως περιγράφεται από τον Lin (1981). Με τη συσκευή πτώσης της μεμβράνης ένα λεπτό υγρό φύλλο παράγεται από ένα δοχείο με μια σχισμή. Το φύλλο πέφτει συνεχώς μεταξύ δύο συρμάτινων οδηγιών, μέχρι να πέσει

μέσα σε ένα αγγείο. Από αγγείο αυτό το υγρό αντλείται πίσω στο δοχείο. Ο ρυθμός πτώσης της μεμβράνης καθορίζεται από τον ρυθμό ροής του υγρού και την βαρύτητα. Οι Van Havenbergh και Joos (1983,1984) περιέγραψαν ποσοτικά την συμπεριφορά της πτώσης της μεμβράνης. Η αρχική ταχύτητα του υγρού (v_0) μπορεί να υπολογιστεί αν μας είναι γνωστά το πλάτος της σχισμής (θ_0), ο ρυθμός ροής (Q) και το μήκος της σχισμής (L).

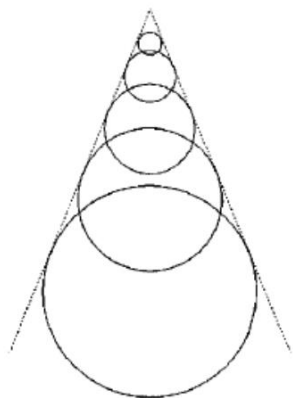
Υποθέτοντας ότι ο ρυθμός ροής είναι σταθερός και ότι η μεμβράνη υπάγεται στον νόμο της βαρύτητας, το πάχος της μεμβράνης (θ) και η ταχύτητα του υγρού (v) σε κάθε απόσταση από την σχισμή (x) μπορεί να υπολογιστεί συμφώνα με τον Brown (1961) :

$$Q = V_0\theta_0L = v\theta l$$

$$v^2 = v_0^2 + 2gx$$

Η επίδραση του ιξώδους του υγρού της μεμβράνης στην ταχύτητα της αμελήθηκε. Αυτό επιτρέπεται επειδή το ιξώδες έχει μικρή επίδραση επί της ταχύτητας της μεμβράνης για χαμηλό ιξώδες υδατικών διαλυμάτων όπως φαίνεται από τους Van Havenberg και Joos (1983). Εάν η ελεύθερη πτώση της μεμβράνης διαταραχθεί από κάποιο εμπόδιο, μπορεί να εμφανιστεί μια ακμή σχήματος V μπορεί να εμφανιστεί στην ταινία. Η V-σχήματος άκρη εμφανίζεται αν η ταχύτητα πτώσης είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα διάρρηξης (u) της διαταραχής. Η γωνία της ακμής καθορίζεται από την ταχύτητα της μεμβράνης και την εκρηκτική ταχύτητα της διαταραχής. Μετά από ένα αμελητέο σύντομο χρονικό διάστημα η εκρηκτική ταχύτητα φτάνει το μέγιστο, το οποίο μπορεί να περιγράφεται από την εξίσωση Culick 1960 : $u = (2\sigma/\rho\theta)^{1/2}$. Με το φως από το στροβοσκόπιο, μπορεί να ληφθεί ένα μοτίβο όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Με κάθε λάμψη του στροβοσκοπικού φωτός παρατηρείται η ίδια τρύπα. Ωστόσο, κάθε φορά η τρύπα φαίνεται μεγαλύτερη, επειδή διογκώνεται, και μικρότερη επειδή κινείται μαζί με την ελεύθερη πτώση της μεμβράνης. Επειδή το μάτι δεν μπορεί να διακρίνει μεταξύ των ξεχωριστών λάμψεων και κρατάει μια εικόνα για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, γίνεται αντιληπτό το μοτίβο όπως στο

παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 3.ε: Η εικόνα που λαμβάνεται με στροβοσκοπικό φως όταν η ρήξη της μεμβράνης λαμβάνει χώρα κατά την ελεύθερη πτώση της μεμβράνης.

Πηγή:(Beer Foam Physics, Coalescence , A.D. Rontelap)

3.4 Στόχος και προσέγγιση

Είναι γνωστό ότι η συμπεριφορά του αφρού της μπίρας είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στην επίδραση των συστατικών των λιπιδίων (Jackson, 1980). Μια μικρή ποσότητα λιπιδίων μπορεί να προκαλέσει γρήγορη κατάρρευση του αφρού. Η μπίρα περιέχει μια μικρή ποσότητα συστατικών των λιπιδίων, όπως τα λιπαρά οξέα και τα φωσφολιπίδια. Αυτά τα συστατικά έχουν αρνητική επίδραση στη συμπεριφορά του αφρού της μπίρας. Ωστόσο, το αποτέλεσμα, που έχουν αυτά τα διαλυμένα λιπιδικά συστατικά σε σχέση με την συμπεριφορά του αφρού της μπίρας, είναι πολύ μικρότερο από την επίδραση των συστατικών των λιπιδίων που προέρχονται από άλλες πηγές. Για παράδειγμα, βρώμικα ποτήρια μπίρας ή λιπίδια από τα χείλη των καταναλωτών μπορούν να αυξήσουν εξαιρετικά την κατάρρευση του αφρού. Ως εκ τούτου, μπορεί να υποστηριχτεί ότι όχι μόνο η παρουσία συστατικών των λιπιδίων, αλλά και η πραγματική κατάσταση του λιπιδικού υλικού είναι σημαντική. Αν τα λιπίδια είναι μοριακά διαλυτά τότε προκαλείται μικρή βλάβη στην την συμπεριφορά του αφρού, αλλά αν υφίσταται ως μικρά σωματίδια λιπιδίων ή ως σταγονίδια μπορεί αμέσως να καταστρέψει έναν καλοσχηματισμένο αφρό. Στην βιβλιογραφία του αφρού δύο πιθανές εξηγήσεις έχουν δοθεί.

Και στις δύο περιπτώσεις τα σωματίδια των λιπιδίων ή τα σταγονίδια προκαλούν συνένωση. Η συνένωση μπορεί είτε να προκαλείται από την αλληλεπίδραση μεταξύ ενός υδρόφοβου μέρους και του υγρού της μεμβράνης, είτε από την κίνηση της εξάπλωσης του υλικού στην επιφάνεια της μεμβράνης. Μπορεί να γίνει μια διάκριση μεταξύ του μηχανισμού των υδρόφοβων σωματιδίων και του μηχανισμού της διασποράς επειδή είναι διαφορετική η επίδραση πολλών παραμέτρων και στους δύο μηχανισμούς είναι διαφορετική. Το μέγεθος των σωματιδίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να γίνει διάκριση μεταξύ αυτών των δύο μηχανισμών. Για τον μηχανισμό των υδρόφοβων σωματιδίων η διάμετρος του σωματιδίου πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με το πάχος της μεμβράνης. Για τον μηχανισμό εξάπλωσης η διάμετρος του σταγονιδίου μπορεί να είναι μικρότερη από το πάχος της μεμβράνης. Επιπλέον, ως συνέπεια της εξάπλωσης του υλικού, η κατανομή μεγέθους σταγονιδίων θα αλλάξει σε μικρότερες σταγόνες αν επικρατήσει ο μηχανισμός της εξάπλωσης. Αναμένεται ότι το μέγεθος των σωματιδίων θα παραμείνει το ίδιο αν εμφανιστεί ο μηχανισμός των υδρόφοβων σωματιδίων. Η επιφανειακή τάση που επικρατεί υπό δυναμικές συνθήκες θα έχει πρωταρχική επίδραση στην ρήξη της μεμβράνης. Αν είναι ο μηχανισμός της εξάπλωσης αυτός που θα προκαλέσει τη ρήξη της μεμβράνης, η δυναμική της επιφανειακής τάσης, της μεμβράνης υπό ρήξη, πρέπει να είναι τόσο υψηλή ώστε η τάση διάδοσης να είναι μεγαλύτερη από το μηδέν. Επομένως, η επιφανειακή τάση στην εξάπλωση πρέπει να είναι χαμηλή για να αποτραπεί η συσσωμάτωση. Στην περίπτωση του μηχανισμού των υδρόφοβων σωματιδίων, το αποτέλεσμα των επιφανειακών ρεολογικών πτυχών δεν είναι γνωστό. Επιπλέον, σε μεγαλύτερο όγκο ιξώδους, η διαδικασία θα επιταχυνθεί στην περίπτωση του μηχανισμού διασποράς και θα επιβραδυνθεί στην περίπτωση των υδρόφοβων σωματιδίων. Προκειμένου να προσδιοριστεί ποιος από τους δύο μηχανισμούς της ρήξης της μεμβράνης συμβαίνει και για να μελετήσουμε την επίδραση των παραπάνω παραμέτρων στην ρήξη της μεμβράνης, χρησιμοποιήθηκαν διάφορες τεχνικές. Η σταθερότητα μιας υγρής μεμβράνης καθώς επηρεάζεται από την παρουσία μικρών σταγονιδίων διαφορετικής σύνθεσης και διαφορετικού μεγέθους μετρήθηκε, με μια συσκευή πτώσης της μεμβράνης.

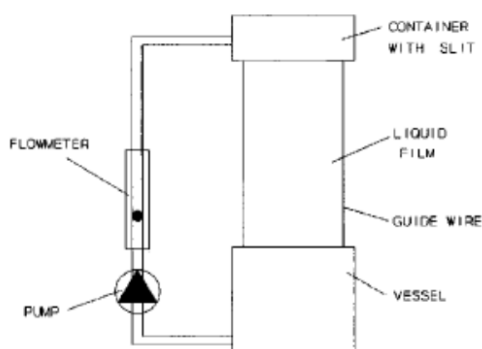
Η επίδραση της δυναμικής επιφανειακής τάσης στην σταθερότητα της πτώσης της μεμβράνης ερευνήθηκε με την εκτέλεση επιφανειακών ρεολογικών πειραμάτων και

πειραμάτων διασποράς. Τα πειράματα διασποράς πραγματοποιήθηκαν για να προσδιοριστεί αν η επιφάνεια του δραστικού υλικού απλώνεται από σταγονίδια γαλακτώματος στην επιφάνεια της μπίρας. Η χαμηλότερη επιφανειακή τάση στην οποία συμβαίνει η εξάπλωση της επιφάνειας των δραστικών υλικών προσδιορίστηκε, για σταγονίδια γαλακτώματος διαφορετικών συνθέσεων. Προκειμένου να μπορέσει να συγκριθεί η έκβαση των πειραμάτων της εξάπλωσης με τα αποτελέσματα που λήφθηκαν με τον μηχανισμό πτώσης της επιφάνειας της δυναμικής επιφανειακής τάσης πολλών μυρών μετρήθηκε με διάφορους επιφανειακούς ρεολογικούς μεθόδων. Πρόσθετα επιφανειακά rheological πειράματα πραγματοποιήθηκαν με Langmuir και με μια τεχνική υπερχειλίσης του κυλίνδρου. Η συσκευή Langmuir θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε δύο διαφορετικές διαμορφώσεις. Σε μία διαμόρφωση, η συσκευή είναι εξοπλισμένη με ένα μόνο φράγμα. Η συσκευή με ένα μόνο φράγμα χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση των μεταβατικών φαινομένων που εμφανίζονται στον αφρό, όπως ο σχηματισμός φυσαλίδων και οι αναδιατάξεις της μεμβράνης. Στην άλλη διαμόρφωση, η συσκευή Langmuir είναι εφοδιασμένη με μια ερπούμενη ζώνη. Η συσκευή εξοπλισμένη με τον ιμάντα χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση της επιφανειακής τάσης σε συνθήκες σταθερής κατάστασης. Ο σχετικός ρυθμός παραμόρφωσης της επιφάνειας ($d\ln A / dt$) είναι σταθερός κατά την διάρκεια αυτού του πειράματος Prins (1976). Το μέγιστο ποσοστό επιφανειακής επέκτασης στη συσκευή Langmuir είναι χαμηλότερο από τον ρυθμό εξάπλωσης στη συσκευής πτώσης της μεμβράνης. Επιπλέον, σε πρακτικές καταστάσεις, οι επιφάνειες μπορούν να επεκταθούν πιο γρήγορα από ότι μπορεί να επιτευχθεί με την συσκευή Langmuir. Ως εκ τούτου, μια τεχνική υπερχειλίσης του κυλίνδρου όπως περιγράφεται από τους Piccardi και Φερρονι (1951,1953) Padday (1957) και Joosand DeKeyser (1980) χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση της επιφανειακής τάσης σε υψηλότερους ρυθμούς σταθερής επέκτασης. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν με μύρες διαφορετικού όγκου ιζώδους για την μελέτη της επίδρασης του όγκου του ιζώδους στην σταθερότητα της μεμβράνης.

3.5 Πειραματικές Συσκευές

3.5.i Συσκευή Πίπτουσας Μεμβράνης

Η συσκευή πίπτουσας μεμβράνης αποτελείται από ένα δοχείο με ελεγχόμενη θερμοκρασία που περιέχει 2 λίτρα μπίρας, από το οποίο το υγρό μπορεί να αντλείται ως ένα δοχείο με μια λεπτή σχισμή ($\theta^{\circ}=750\mu\text{m}$, 1-13cm). Από τη σχισμή το υγρό πέφτει σαν μια μεμβράνη, μεταξύ δύο πλευρικών συρμάτων, πίσω μέσα στο δοχείο. Το μήκος της ταινίας είναι περίπου 40 cm. Ο ρυθμός ροής του υγρού, που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί, ήταν από $1 \times 10^{-5} \text{m}^3 \text{s}^{-1}$ - $2.9 \times 10^{-5} \text{m}^3 \text{s}^{-1}$. Γαλακτώματα με γνωστό μέγεθος σωματιδίων και σύνθεσης σωματιδίων προστέθηκαν στην μύρα στην πτώση της μεμβράνης για τη μελέτη του σχηματισμού οπών. Τα γαλακτώματα κατασκευάστηκαν από μύρα και 2% από έλαιο σόγιας εμπορίου (Reddy) με ποικίλες ποσότητες γαλακτωματοποιητή (είτε GMO ή Tween 80). Ο ομογενοποιητής Rannie χρησιμοποιήθηκε σε ποικίλες πιέσεις (0,5 - 0,8 bar) προκειμένου να παραχθούν γαλακτώματα με διαφορετικές κατανομές μεγέθους σταγονιδίων. Η κατανομή του μεγέθους των σταγονιδίων μετρήθηκε είτε με την τεχνική της σκέδασης του φωτός όπως περιγράφεται από τον Walstra (1968), με μια τεχνική μικροσκοπίου ή με μετρητή Coulter, ανάλογα στην κατανομή του μεγέθους των σταγονιδίων του γαλακτώματος. Μετρήθηκε ο αριθμός των οπών που θα μπορούσαν να παραχθούν στη συσκευή πτώσης των μεμβρανών. Αυτό επιτεύχθηκε με 2% σόγια, που περιέχει 1% GMO ,ομογενοποιημένο γαλάκτωμα σε 0,5 bar. Η ποσότητα του γαλακτώματος που προστέθηκε στην μύρα ήταν 0,1% (v/v). Η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια αυτών των μετρήσεων ήταν 20 βαθμοί Κελσίου. Ο αριθμός των οπών είναι εκφρασμένος ως αριθμός ανά μονάδα όγκου για να γίνει δίκαιη σύγκριση με διαφορετικούς ρυθμούς ροής.



Εικόνα 3.στ: Συσκευή πίπτουσας μεμβράνης

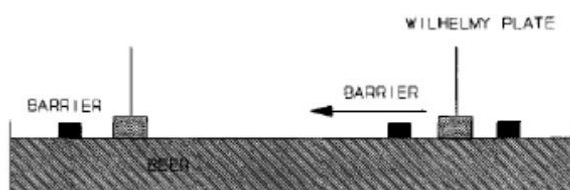
Πηγή:(Beer Foam Physics, Coalescence , A.D. Rontelap)

3.5.ii Συσκευή Wilhelmy

Για να προσδιοριστεί αν ένα συγκεκριμένο υλικό εξαπλώνεται σε μια επιφάνεια, πραγματοποιήθηκαν πολλά πειράματα εξαπλώσης. Σε ένα μικρό δοχείο η επιφανειακή τάση της μπίρας μετρήθηκε χρησιμοποιώντας μια τεχνική πλάκας Wilhelmy. Όταν επιτεύχθηκε επιφανειακή τάση , μικρά σταγονίδια ελαίου, που περιείχαν διαφορετικές ποσότητες γαλακτωματοποιητή , προστέθηκαν στην επιφάνεια της μπίρας. Μια ξαφνική μείωση της μετρημένης επιφανειακής τάσης , πάρηκε ως απόδειξη της εξαπλώσης του επιφανειοδραστικού υλικού. Για να προσομοιώσουμε την αυξημένη επιφανειακή τάση στην κατάρρευση της μεμβράνης , η μπίρα αραιώθηκε με νερό. Η ισορροπία της επιφανειακής τάσης της μπίρας αυξήθηκε.

3.5.iii Συσκευή Langmuir

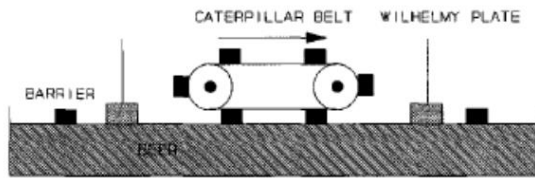
Πραγματοποιήθηκαν επιπλέον επιφανειακά ρεολογικά πειράματα με μια συσκευή Langmuir με ένα μόνο φράγμα. Στην αρχή κάθε πειράματος η επιφάνεια είχε συνολική επιφάνεια 90cm^2 . Η επιφάνεια στη συνέχεια επεκτάθηκε σε συνολική επιφάνεια 450cm^2 , αύξηση 400 %. Η τιμή της επέκτασης θα μπορούσε να επιλεγθεί μεταξύ $2,3 \times 10^{-5}$ και $2,3 \times 10^{-2}\text{ms}^{-1}$.



(Εικόνα 3.ζ)

Σχήμα : γούρνα Langmuir

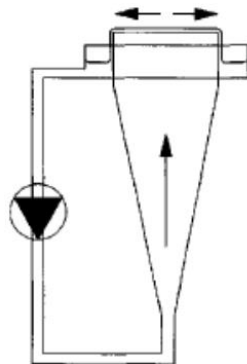
Η συσκευή Langmuir εξοπλισμένη με ιμάντα με αρκετά εμπόδια, χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση της επιφανειακής ρεολογικής συμπεριφοράς σε σταθερών συνθήκες. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικούς ρυθμούς επέκτασης από 2×10^{-4} έως $2 \times 10^{-1}\text{s}^{-1}$.



(Εικόνα 3.η)

3.5.iv Συσκευή Υπερχείλισης Κυλίνδρου

Για την μέτρηση της δυναμικής επιφανειακής τάσης της μύρας κάτω από συνθήκες επέκτασης, χρησιμοποιήθηκε μια τεχνική υπερχείλισης κυλίνδρου. Το προς εξέταση υγρό αντλείται από κάτω σε έναν κάθετο κύλινδρο και του επιτρέπεται να υπερχειλίσει ακτινικά στην κορυφή του κυλίνδρου. Η διάμετρος του εσωτερικού κυλίνδρου στην κορυφή είναι 8 cm. Το υγρό ξεχειλίζει σε έναν εξωτερικό κύλινδρο, από τον οποίο αντλείται ξανά στον εσωτερικό. Στην κορυφή του εσωτερικού κυλίνδρου το υγρό διευρύνεται ακτινικά. Μετά από σύντομο ορισμένο χρονικό διάστημα μια σταθερή κατάσταση ισορροπίας επιτυγχάνεται, στην οποία η επιφανειακή τάση και η διάχυση του επιφανειακού ενεργά υλικού στην επιφάνεια βρίσκονται σε ισορροπία. Η επιφανειακή τάση υπό συνθήκες επέκτασης μπορεί εύκολα να μετρηθεί με τεχνική της πλάκας Wilhelmy. Για την πλάκα Wilhelmy χρησιμοποιήθηκε μια τραχιά γυάλινη πλάκα.



(Εικόνα 3.θ)

Η μέτρηση του σχετικού επιφανειακού ρυθμού επέκτασης είναι πιο περίπλοκη Bergink-Martensetal (1989).

4. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΑΦΡΟΥ

4.1. Εισαγωγή

Ο αφρός σχηματίζεται στην μπίρα όταν οι φυσαλίδες που ανεβαίνουν μέσα στο υγρό, αρχίζουν να στοιβάζονται επάνω στην επιφάνεια. Ο αφρισμός που δημιουργείται, οφείλεται προφανώς στη δημιουργία φυσαλίδων. Ο αφρός της μπίρας έχει μεγάλο χρόνο ζωής από την στιγμή που θα αδειάσει η μπίρα στο ποτήρι. Για να γίνει αντιληπτό τι κάνει τον αφρό της μπίρας τόσο σταθερό, πρέπει να καταλάβει κανείς τι προκαλεί τον σχηματισμό του αφρού και τι προκαλεί την κατάρρευση του. Η σταθερότητα του αφρού της μπίρας είναι ένα κρίσιμο χαρακτηριστικό που αντικατοπτρίζει την ποιότητα της μπίρας. Μεγάλη ερευνητική δραστηριότητα έχει αφιερωθεί στον προσδιορισμό των βασικών συστατικών της μπίρας που επηρεάζουν την ποιότητα του αφρού. Μέσω αυτής της δραστηριότητας έχει αποδειχθεί ότι η ποιότητα του αφρού, ουσιαστικά και η σταθερότητά του, προωθούνται από αλληλεπιδράσεις μεταξύ πρωτεϊνών(5 kDa) που προσέφεραν τα οξέα βύνης και λυκίσκου Asano και Hashimoto, (1980) και Bamforth(1985). Οι πρωτεΐνες που προσδιορίστηκαν περιλαμβάνουν τις Z πρωτεΐνες, τις LTP1 και διάφορα είδη ορδεϊνών. Συστατικά όπως πολυφαινόλες και πολυσακχαρίτες (δηλ. β-γλυκάνη και αραβινοξυλάνη) έχουν αποδοθεί ως δευτερεύοντες ρόλοι στην προώθηση της ποιότητας του αφρού.

Άλλα συστατικά όπως λιπίδια, βασικά αμινοξέα και τα υψηλά επίπεδα αιθανόλης έχουν αποδειχθεί ότι αποσταθεροποιούν τον αφρό της μπίρας. Αν και υπάρχουν πολλοί παράγοντες που θετικά και αρνητικά επηρεάζουν τη σταθερότητα του αφρού, ο πιο σημαντικός θετικός παράγοντας είναι η παρουσία υδρόφοβων πολυπεπτιδίων (πχ.LTP1).Η πρωτεΐνη LTP1 σχηματίζει μια επίστρωση στις φυσαλίδες, η οποία βοηθά στη διατήρηση

του αφρού. Η μαγιά της μπίρας εκκρίνει μία ουσία που ονομάζεται πρωτεΐνάση Α στο μούστο που είναι υπό ζύμωση ή και κατά τη ζύμωση και διαρρέει αυτό το ένζυμο από κατεστραμμένα κύτταρα. Η πρωτεΐνάση Α μειώνει την υδροφοβικότητα των θετικών πολυπεπτιδίων στον αφρό και αυξάνει τη σταθερότητα του στην μπίρα. Το αποτέλεσμα αυτό ενισχύεται κατά τη διάρκεια περιόδων παρατεταμένης αποθηκείωσης της μπίρας και υπό συνθήκες στρες.

4.2. Σταθερότητα του αφρού

Η μέτρηση του αφρού πιστεύεται ότι περιορίζεται στην παρατήρηση ή στο δυναμικό σύστημα, λόγω της παροδικής και ετερογενούς φύσης του αφρού της μπίρας. Εκεί υπάρχουν διάφορες διαθέσιμες μέθοδοι για τη μέτρηση της σταθερότητας του αφρού. Με άλλα λόγια, δεν υπάρχει μία και μόνο καθολική τυποποιημένη μέθοδος που να μετρά τη σταθερότητα του. Μία από τις μεταβλητές είναι και ο τρόπος δημιουργίας του αφρού, είτε είναι φυσικός είτε είναι τεχνητός. Χρησιμοποιώντας την φυσική μέθοδο, μπορεί κανείς να παρατηρήσει τη σταθερότητα του αφρού κάτω από τη σχετικά παρόμοια προϋπόθεση με εκείνη του εμπορίου. Ωστόσο, είναι εξαιρετικά δύσκολο να αναπαραχθούν τέτοια είδη αφρού, καθώς μπορεί να επηρεαστεί εύκολα από άλλες μικρότερες αλλαγές όπως η γωνία και το ύψος ρίψης, οι περιβαλλοντικές συνθήκες, ο ρυθμός ροής, η μεταβλητότητα του μεγέθους των φυσαλίδων. Από την άλλη πλευρά, οι τεχνητές μέθοδοι θα μπορούσαν να είναι σχετικά συνεπείς και αρκετά αναπαραγωγίμες. Ένας κοινός τρόπος τεχνητής μεθόδου είναι η χρήση αερίου διοξειδίου του άνθρακα ή πεπιεσμένου αέρα. Χρησιμοποιώντας την τεχνητή μέθοδο, το δείγμα αφρού που παράγεται καθίσταται πολύ αναπαραγωγίμο. Δύο συνήθεις τρόποι για να εκτιμηθεί η σταθερότητα του αφρού είναι η μέθοδος της κατάρρευσης του αφρού καθώς και οι μετρήσεις υγρής αποστράγγισης. Η κατάρρευση του αφρού είναι η μέτρηση του συνολικού ρυθμού κατάρρευσής του, ενώ η μέθοδος αποστράγγισης υγρών μετρά την ικανότητα του αφρού να εμποδίζει την αποστράγγιση.

Έχουν παρατηρηθεί όμως και μικρές «παραφωνίες» στις παραδοσιακές μεθόδους:

- σημαντική ποσότητα υγρού θα μπορούσε να αποστραγγιστεί από τον αφρό χωρίς ουσιαστική κατάρρευση αφρού σε κάποια δείγματα μπίρας, αλλά όχι σε όλα

- με απαέρωση της μπίρας, η επίδραση των αερίων που χρησιμοποιούνται δεν λαμβάνεται υπόψη
- πλήρης αφρισμός, που αναπαράγεται στην στήλη αφρού Rudin, δημιουργεί τον αφρό που δεν είναι ρεαλιστικός στο εμπορικό περιβάλλον
- τα περισσότερα πειράματα εκτελούνται σε θερμοκρασία δωματίου (20 °C), η οποία είναι τυπικά διαφορετική από τη θερμοκρασία σερβιρίσματος της μπίρας



(Εικόνα 4.α)

4.3. Παράγοντες που επηρεάζουν τον σχηματισμό του αφρού κατά την Βυνοποίηση-Ζυθοποίηση

Άλεση :

- 1) Κριθάρι – υψηλότερη πρωτεΐνη σημαίνει περισσότερο δυναμικό αφρού.
- 2) Η πρωτεϊνόλυση κατά τη βλάστηση του κριθαριού προκαλεί σχηματισμό περισσότερων διαλυτών υδρόφοβων (πολυ)πεπτιδικών προϊόντων αποδόμησης με υψηλό αφρισμό και συνεπώς κάποια σταθερότητα αφρού.
- 3) Η άλεση επίσης παρέχει πρωτεΐνη μεταφοράς λιπιδίων (LTP1) και πρωτεΐνη Z (40.000 μοριακό βάρος πρωτεΐνης), οι οποίες συμβάλλουν λιγότερο στον σχηματισμό αφρού από τα προϊόντα αποδόμησης των ορδεϊνών, αλλά έχουν μεγαλύτερη σταθερότητα αφρού.

4) Οι πρωτεΐνες σιταριού έχουν μεγαλύτερη σταθερότητα αφρού από τις αντίστοιχες πρωτεΐνες κριθαριού.

5) Τα πρόσθετα με βάση το καλαμπόκι, το ρύζι και τα σάκχαρα δεν παρέχουν αφρώδες υλικό και η χρήση τους επομένως, αραιώνει το δυναμικό του αφρού.

6) Τα ψημένα πρόσθετα μπορεί να ενισχύσουν τον αφρό μέσω της συμβολής των μελανοειδών.

Παραγωγή βυνογλεύκους:

_1) Η ζυθοποίηση μεγάλου βάρους οδηγεί σε φτωχότερους αφρούς, επειδή είναι αναποτελεσματική η εξαγωγή των υδρόφοβων πολυπεπτιδίων και υπάρχει μεγαλύτερη απώλεια του σχετικά αδιάλυτου υδρόφοβου υλικού σε υψηλότερες συγκεντρώσεις.

2) Τα υγρά υψηλότερης θερμοκρασίας ευνοούν τον καλύτερο αφρό.

3) Τα χαμηλότερα στρώματα pH (π.χ. <5.1) ευνοούν τον αφρό.

Βράσιμο :

_1) Η μετουσίωση των πρωτεϊνών αυξάνει την εσωτερική υδροφοβία τους και επομένως αυξάνει τη σταθερότητα του αφρού.

2) Αυτό ισορροπείται με την πρωτεΐνη που χάνεται με την καθίζηση.

Λυκίσκος / προϊόντα λυκίσκου:

_1) Το υψηλότερο άλφα-οξύ δίνει αυξημένο ισο-άλφα-οξύ σταθεροποίησης αφρού.

2) Τα μειωμένα ισο-άλφα-οξέα έχουν ανώτερη σταθερότητα αφρού, αλλά μπορεί να οδηγήσουν σε λιγότερο ελκυστικό αφρό.

Μαγιά και Ζύμωση :

_1) Ο αφρισμός κατά τη διάρκεια της ζύμωσης απομακρύνει τα αφρώδη πολυπεπτίδια και έτσι τα αντιαφριστικά ενισχύουν τον τελικό αφρό της μπίρας με την προϋπόθεση ότι αφαιρούνται στο φίλτρο.

2) Η ζύμη σε υψηλότερες βαρύτητες τόνισε αυτολύσεις και απελευθέρωσε καταστροφικές πρωτεΐνες.

3) Επομένως, αποφεύγουμε τις υπερβολικές γενιές ζύμης (συνίσταται 5 το πολύ).

Κλιματισμός :

4) Η παρατεταμένη επαφή της μαγιάς με την μπίρα προκαλεί ζημιά στον αφρό μέσω της αυτόλυσης και της πρωτεϊνόλυσης.

Διήθηση και σταθεροποίηση :

_1) Η υπερδιήθηση της μπίρας θα οδηγήσει σε υπερβολική αφαίρεση του αφρώδους υλικού.

2) Η παπαΐνη καταστρέφει τα πολυπεπίδια του αφρού

3) Το PGA μπορεί να προστεθεί ως προστατευτικό αφρού. Τα δισθενή κατιόντα, όπως ο ψευδάργυρος, σταθεροποιούν τον αφρό. Ο σίδηρος έχει χρησιμοποιηθεί, αλλά προάγει οξείδωση.

4) Προτιμάται η «σωστή πρώτη φορά», καθώς αποφεύγεται η διόρθωση των αερίων με συνοδευτικό αφρισμό και απώλεια δυναμικού του αφρού.

Εμφιάλωση :

_1) Η προσθήκη αερίου αζώτου αυξάνει τη σταθερότητα του αφρού.

2) Χρήση widget σε μικρό πακέτο ως συσκευή πυρήνωσης.

3) Το υψηλό διοξείδιο του άνθρακα οδηγεί σε αυξημένο αφρό.

Τελικό προϊόν :

_1) Η ανάμιξη αερίου (CO₂/N₂) βαρελίσιας μπίρας ενισχύει την παρουσία του αφρού.

2) Υψηλή αιθανόλη καταστρέφει τον αφρό.

3) Τα λιπίδια και τα απορρυπαντικά που εισάγονται με την διανομή, προκαλούν σοβαρή ζημιά στον αφρό.

4) Η υψηλότερη θερμοκρασία προάγει το σχηματισμό αφρού, αλλά μειώνει την σταθερότητα του.

4.4. Παράγοντες που επηρεάζουν θετικά τον αφρό

- **Βύνη**: Η βύνη η οποία διαθέτει υψηλή περιεκτικότητα πρωτεϊνών και δεξτρινών, αυξάνει τη συγκράτηση του σώματος και της κεφαλής του αφρού της μπίρας, επειδή οι πρωτεΐνες λειτουργούν ως δομικό συστατικό στον αφρό. Οι πρωτεΐνες που προέρχονται από τη βύνη είναι τυπικά υδρόφοβες προκαλώντας έτσι την κίνηση τους ανοδικά προς τον αφρό, όπου συναντούν άλλες θετικές σταθεροποιητικές ουσίες του αφρού, όπως αυτές που προέρχονται από το λυκίσκο. Ωστόσο, τα υψηλά επίπεδα πρωτεϊνών και δεξτρινών μπορούν να αλληλεπιδράσουν

με τις τανίνες και να δημιουργηθεί κίνδυνος να αναταραχτεί η διαύγεια του αφρού, καθώς και να παράσχουν περισσότερα θρεπτικά συστατικά στους μικροοργανισμούς αλλοίωσης, με αποτέλεσμα να παραχθεί λιγότερο ζυμώσιμο εκχύλισμα. Συνεπώς για αυτό τον λόγο πρέπει να υπάρχει πάντα η κατάλληλη ισορροπία. Παράδειγμα βυνών οι οποίες ενισχύουν την σταθερότητα του αφρού, είναι οι κρυσταλλικές βύνες (πχ. Carapils, Carafoam, Caramel malts) καθώς και οι βύνες σιταριού. Επίσης θετική συμβολή στην σταθερότητα του αφρού μπορεί να έχουν και οι “dark” βύνες και αυτό οφείλεται στα υψηλά επίπεδα μελανοϊδίνης, μιας πολυμερούς πρωτεΐνης που σχηματίζεται όταν συνδυαστούν τα αμινοξέα και τα σάκχαρα.

- **Λυκίσκος:** Οι ουσίες οι οποίες προσδίδουν την χαρακτηριστική πικράδα στον λυκίσκο, είναι οι [isohumulones](#), μια μορφή ισο-άλφα-οξέων, οι οποίες θα βοηθήσουν στη συγκράτηση των φυσαλίδων. Αυτές οι υδρόφοβες ουσίες βοηθούν στο σχηματισμό της κεφαλής του αφρού. Τα ισο-άλφα οξέα πιστεύεται ότι διευκολύνουν την σύνδεση των πρωτεϊνών βύνης, μέσω δεσμών υδρογόνου. Ωστόσο, αυτή η αλληλεπίδραση δεν συμβαίνει αμέσως. Μπορεί να παρατηρηθεί πως όταν ρίχνεται μια μπίρα στο ποτήρι, ο αφρός της μπίρας είναι υγρός και μαλακός, αλλά αποκτά σχεδόν μια στερεή μορφή σε λίγα λεπτά. Ο ίδιος αφρός μπορεί στην συνέχεια να προσκολληθεί στην επιφάνεια του ποτηριού, δημιουργώντας έτσι το φαινόμενο "Lacing" (το υπόλειμμα του αφρού που κατακρατείται στην επιφάνεια του ποτηριού). [Isohumulone](#) είναι ένας πολύ πιο αποτελεσματικός σταθεροποιητής αφρού από την [isocohumulone](#) και έτσι είναι λογικό ότι τα σημερινά είδη λυκίσκου που καλλιεργούνται, προσδίδουν καλύτερη σταθερότητα αφρού από τις παλαιότερες ποικιλίες λυκίσκου. Ταυτόχρονα έχει παρατηρηθεί ότι οι προσθήκες ψευδαργύρου, μόλις 2 ppm, μπορεί να προκαλέσουν σημαντική αύξηση στην σταθερότητα του αφρού. Δυστυχώς, τα περισσότερα από τα μεταλλικά ιόντα του ζυθογλεύκου χάνονται κατά την βρασμό και το μόνο ιόν που δεν προσδίδει αρώματα στην παραπάνω λίστα είναι το ασβέστιο.

- **Πρωτεΐνες:** Μετά το νερό, την αιθανόλη και τους υδατάνθρακες, το επόμενο πιο άφθονο σύνολο ενώσεων στην μπίρα είναι η πρωτεΐνη. Οι ζυθοποιοί λοιπόν, έχουν διαπιστώσει ότι οι πρωτεΐνες σταθεροποιούν τον αφρό της μπίρας. Ειδικότερα, η σταθερότητα του αφρού ενισχύεται παρουσία μεγάλων ποσοτήτων πρωτεϊνών όπως η πρωτεΐνη LTP1 και η πρωτεΐνη Z. Και οι δύο αυτές πρωτεΐνες προέρχονται από κριθάρι και επιβιώνουν από τη διαδικασία της ζύμωσης. Οι επιστήμονες πιστεύουν ότι αυτές οι μεγάλες πρωτεΐνες έχουν τόσο υδρόφοβες όσο και υδρόφιλες περιοχές, καθιστώντας τις επιφανειοδραστικές ουσίες. Θα φαινόταν λογικό ότι, για να βελτιωθεί ο αφρός, θα έπρεπε να προστεθούν συστατικά με περίσσεια ποσότητα αυτών των στοιχείων. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένα προβλήματα με αυτήν την προσέγγιση. Για παράδειγμα, η βύνη που προέρχεται από το σιτάρι διαθέτει μεγαλύτερη ποσότητα πρωτεΐνης από τη βύνη κριθαριού. Ωστόσο, όσο περισσότερη πρωτεΐνη έχει η βύνη, τόσο πιο πιθανό θα είναι η μπίρα να παρουσιάσει θόλωμα. Σε μερικές μπίρες, όπως οι "hefeweizens", αυτό δεν είναι πρόβλημα. Αλλά στις περισσότερες "συνήθεις" μπίρες, το θόλωμα δεν είναι επιθυμητό. Μια κοινή πρακτική μεταξύ των ζυθοποιών είναι η προσθήκη βύνης που προέρχεται από σιτάρι στο πολτό για να δημιουργηθεί αφρός. Η βύνη σιταριού έχει περισσότερη πρωτεΐνη από τη βύνη κριθαριού και επομένως είναι συγκριτικά πιο θετική ως προς τον αφρό.

Επιπλέον, οι δυνάμεις van der Waals μεταξύ των γειτονικών πρωτεϊνών στην επιφάνεια των φυσαλίδων συμβάλλουν στην επιφανειακή τάση. Αυτές οι δύο δράσεις μαζί κάνουν αυτές τις πρωτεΐνες να συμβάλλουν τόσο στον σχηματισμό του αφρού, όσο και στη σταθερότητα του. Πιο αναλυτικά :

1. Πρωτεΐνη LTP (Lipid Transfer Protein)

Υπάρχουν δύο μέλη της οικογένειας πρωτεϊνών μεταφοράς λιπιδίων που εκφράζονται σε κριθάρι, LTP1 και LTP2. Ωστόσο, η πρωτεΐνη LTP2 δεν έχει βρεθεί ακόμη στην μπίρα σε σημαντικές ποσότητες ή δεν σχετίζεται με την διαμόρφωση της ποιότητας του αφρού. Αντίθετα η LTP1, παλαιότερα γνωστή και ως PAPI, εκφράζεται κυρίως στο στρώμα αλουρόνης αργά σε κόκκους και αναπτύσσεται κατά τα αρχικά στάδια της βλάστησης,

σύμφωνα με τους Mundy και Rogers το (1986) και Skiver το (1992). Είναι μια υδρόφοβη πρωτεΐνη που συμπυκνώνεται στον αφρό της μπίρας και έχει εκτιμηθεί ότι αποτελεί έως και το 1% της συνολικής πρωτεϊνικής βύνης. Κατά τη διάρκεια του βρασμού, η LTP1 μετουσιώνεται αντιστρέψιμα, το οποίο ουσιαστικά μειώνει την ανοσοδραστικότητα του στα αντισώματα, αλλά βελτιώνει τις ιδιότητές του που προάγουν τον αφρό. Η πρωτεΐνη LTP1 φαίνεται να έχει διαφορετικούς τρόπους δράσης σε σχέση με την ποιότητα του αφρού της μπίρας. Αρχικά η μπίρα που διαθέτει πρωτεΐνη LTP1 έχει εξαιρετική παραγωγή αφρού αλλά κακές ιδιότητες σταθεροποίησης του. Οι ιδιότητες σταθεροποίησης του αφρού ενισχύονται ουσιαστικά, όταν συνδυάζεται με απομονωμένη ορμόνη / γλουτελίνη LMW ή κλάσμα αφρού HMW που περιέχει την πρωτεΐνη Z. Αυτή η αποτελεσματικότητα με άλλες πρωτεΐνες για την παροχή σταθερότητας του αφρού παρατηρήθηκε επίσης από τον Douma το (1997). Ο Bech (1995) διαπίστωσε ότι προέκυψε αύξηση της περιεκτικότητας της πρωτεΐνης LTP1 στην μπίρα σε βελτιώσεις, στη σταθερότητα του αφρού, όταν αξιολογήθηκε η απόδοση του αφρού από ένα σύστημα ψηφιακής ανάλυσης που ήταν η πρωτοπόρος στον αυτόματο ελεγκτή LG. Ομοίως ο Luskto (1995) κατέληξε επίσης στο συμπέρασμα ότι η LTP1 ήταν ένας σημαντικός καθοριστικός παράγοντας της σταθερότητας του αφρού, όπως κρίθηκε από τη δοκιμή ανάλυσης Constant. Αντιστρόφως, μικρές κλίμακες (600-800 ml) που χρησιμοποίησαν κυρίως την διαδικασία Rudin, βρήκαν μια διαφορούμενη σχέση μεταξύ LTP1 και της σταθερότητας του αφρού. Εν μέρει η εξήγηση για αυτές τις παρατηρήσεις μπορεί να είναι, ότι η ανάλυση Rudin μετρά τη σταθερότητα του αφρού και δεν λαμβάνει υπόψη την ποσότητα που σχηματίζεται. Εναλλακτικά, ο δεύτερος τρόπος δράσης της LTP1, είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν πρωτεΐνη δέσμευσης λιπιδίων. Ο Van Nierop (2004) παρατήρησε ότι η αυξημένη μετουσίωση του LTP1 με βρασμό θα μπορούσε στην πραγματικότητα να είναι επιζήμια για τη σταθερότητα του αφρού, λόγω της μειωμένης ικανότητας της μετουσιωμένης LTP1, για δέσμευση αφρού αποσταθεροποιητικών λιπιδίων. Όπου το επίπεδο των λιπιδίων στην μπίρα είναι χαμηλό ή το επίπεδο LTP1 ήταν υψηλό, υπήρχε και μικρή επίδραση στη σταθερότητα του αφρού της μπίρας. Ωστόσο, όπου το επίπεδο μπίρας σε LTP1 ήταν χαμηλό και το επίπεδο λιπιδίων υψηλό, παρατηρήθηκαν σημαντικές μειώσεις στη σταθερότητα του αφρού.

2. Ορδεΐνες

Οι ορδεΐνες, είναι οι κύριες πρωτεΐνες αποθήκευσης του κριθαριού. Η αναζήτηση για την ανάπτυξη του αφρού της μπίρας αποτελούσε την κύρια προτεραιότητα των ερευνητών. Ωστόσο, η ποικιλομορφία των ομάδων των ορδεϊνών και η αλληλεπίδρασή τους με τις πρωτεάσες για να καταστεί δυνατή η διαλυτοποίηση, παράγει αρκετά δυνητικά επιθυμητά χαρακτηριστικά που προάγουν τον αφρό, αλλά ταυτόχρονα δημιουργούνται και ανεπιθύμητα χαρακτηριστικά που προάγουν το θόλωμα. Ερευνητές ισχυρίστηκαν ότι βρεθήκαν είδη ορδεϊνών που σχετίζονται με την βελτιώσει της ποιότητας του αφρού. Οι Sheehan και Skerritt (1997) εντόπισαν μια ζώνη ορδεϊνών 23 kDa, με ορδεϊνικά ειδικά μονοκλωνικά αντισώματα, τα οποία προάγουν την σταθερότητα του αφρού. Μια πρωτεΐνη 17 kDa επίσης βρέθηκε να συμπυκνώνεται στον αφρό της μπίρας. Επιπροσθέτως αυτή η πρωτεΐνη βρέθηκε να έχει κάποια ομολογία αλληλουχίας με την πρωτεΐνη 23 kDa που προσδιορίστηκε παραπάνω. Σε πειράματα ανάλυσης του αφρού της μπίρας χρησιμοποιώντας τον αυτόματο ελεγκτή Lg, διαπιστώθηκε ότι η διάρκεια του αφρού συσχετίζεται σημαντικά με τη συνδυασμένη περιεκτικότητα της πρωτεΐνης 17 kDa και της LTP1 για μπίρες που ήταν μέτρια ανθρακούχες, περίπου (CO_2 : 5,1-5,2 g/l) αλλά όχι για μπίρες που ήταν πολύ ανθρακούχες ($\text{CO}_2 < 5,2\text{g/l}$).

Πιο πρόσφατα, μια σειρά πειραμάτων που ερευνούν την επίδραση στην σταθερότητα του αφρού σε διάφορα είδη μπίρας από την ομάδα της Bamforth, ήταν διαφωτιστικά ως προς τον υποτιθέμενο ρόλο των ορδεϊνών. Διαπιστώθηκε ότι αυξήθηκε η δύναμη σταθεροποίησης του αφρού μετουσιωμένων κλασμάτων αλβουμίνης κριθαριού, ενώ η περιορισμένη πρωτεόλυση μείωσε την αλβουμίνη αλλά ενίσχυσε τη σταθερότητα του αφρού που οφείλεται στις ορδεΐνες.

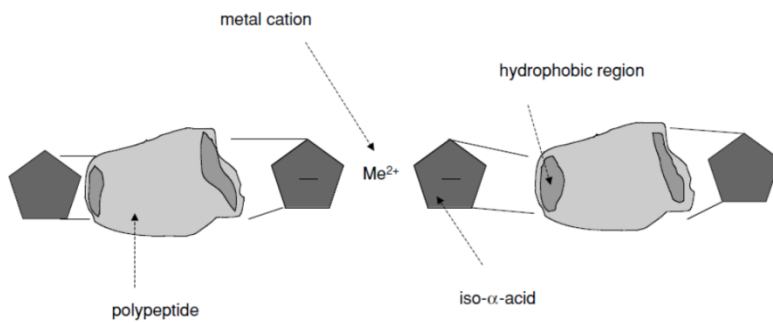
3. Πρωτεΐνη Z

Η πρωτεΐνη Z ή η πρωτεΐνη μπίρας "40 kDa" ήταν το πρώτο ειδικό είδος πρωτεΐνης που υπέθεσαν οι επιστήμονες ότι προωθούσε την σταθερότητας του αφρού, Kaersgaard & Hejgaard το (1979). Η πρωτεΐνη Z είναι μια πρωτεΐνη τύπου αλβουμίνης, που συνεισφέρει στην μπίρα από βύνη, όπως και έχει εκτιμηθεί από την ELISA ότι αποτελεί έως και το 2% της συνολικής πρωτεΐνης Evans και Hejgaard(1999). Η πρωτεΐνη Z είναι στην πραγματικότητα είναι το άθροισμα των επιπέδων των δύο ισόμορφών του, της πρωτεΐνης Z4 και της

πρωτεΐνης Z7, που εκφράζονται από δύο ξεχωριστές αλλά πολύ σχετικές οικογένειες γονιδίων. Στο κριθάρι και τη βύνη, η πρωτεΐνη Z4 είναι σχεδόν πάντα η κυρίαρχη πρωτεΐνη, αντιπροσωπεύοντας περίπου το 80% της συνολικής πρωτεΐνης Z. Έχει εκτιμηθεί ότι η πρωτεΐνη Z αντιπροσωπεύει το 10-25% της μη διαλυτής πρωτεΐνης στην μπίρα, καθιστώντας την το πιο άφθονο είδος πρωτεΐνης. Αντίθετα, ο Doumato (1997) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ της πρωτεΐνης Z και άλλων πρωτεϊνών όπως η πρωτεΐνη LTP1, ήταν πολύ σημαντικές για τη σταθερότητα του αφρού. Η σημασία της πρωτεΐνης Z για τη σταθερότητα του αφρού της μπίρας ήταν κάπως αμφισβητούμενη. Τα πειράματα παρασκευής μικρής κλίμακας (600-800 ml) γενικά, αλλά όχι πάντα, δείχνουν ότι το επίπεδο της πρωτεΐνης Z4 συσχετίζεται θετικά με τη σταθερότητα του αφρού της μπίρας με την μέθοδο Rudin. Παρομοίως δοκιμές στις οποίες η πρωτεΐνη Z εν μέρει αφαιρέθηκε από την μπίρα, παρουσιάζονται είτε ελλιπή, είτε ουσιαστικά στην μείωση της σταθερότητας του αφρού. Αυτή η προφανής αντίφαση φαίνεται να επιλύεται με την παρατήρηση ότι η συμβολή της πρωτεΐνης Z στην σταθερότητα του αφρού, είναι συνάρτηση της τροποποίησης της βύνης.

- **Ισο-άλφα-οξέα:** Τα ισο-άλφα οξέα εμπλουτίζουν επίσης τον αφρό και παίζουν σημαντικό ρόλο στη σταθερότητα του. Στις ελαφρώς πικρές μπίρες, η συγκέντρωση των ισο-άλφα-οξέων στον αφρό είναι περίπου τετραπλάσια από τη συγκέντρωση σε πιο ομαλές - στην γεύση - μπίρες.

Αυτές οι πικρικές ενώσεις συμβάλλουν στη μακροζωία του αφρού. Τα οξέα άλφα που έχουν αναχθεί όπως τα τετραϋδροϊσο άλφα οξέα έχουν ακόμη μεγαλύτερη θετική επίδραση. Στις μπίρες που η σταθεροποίηση του αφρού προκαλείται από τα ισο-άλφα-οξέα, τα μεταλλικά ιόντα μπορούν να αυξήσουν περαιτέρω την σταθερότητα του. Συγκεκριμένα, η παρουσία των Mn^{+2} , Al^{+3} και Ni^{+2} θεωρείται ότι συνδέει τα ισο-άλφα οξέα στην επιφάνεια μιας φυσαλίδας, ενισχύοντας την επιφανειακή της τάση. Είναι επίσης γνωστό ότι οι μπίρες με χαμηλότερες τιμές pH διαθέτουν πιο σταθερό αφρό.



Εικόνα 4.β

Υδρόφοβες αλληλεπιδράσεις εμφανίζονται μεταξύ των πλευρικών αλυσίδων του υδρογονάνθρακα των ισο-α-οξέων και των αμφιπαθικών πολυπεπτιδίων. Επιπλέον, δισθενή μεταλλικά κατιόντα συνδέουν μεταξύ τους γειτονικά πικρικά οξέα με ιοντικούς δεσμούς, δηλαδή τα δύο θετικά φορτία εξουδετερώνουν αποτελεσματικά τα δύο αρνητικά φορτία που συνεισφέρουν τα ανιόντα ισο-α-οξέος. Έτσι το μοντέλο εξηγεί γιατί η υδρόφοβη φύση των πολυπεπτιδίων είναι τόσο σημαντική για τον αφρισμό, όπως επίσης και η έκταση της υδροφοβικότητας των πικρικών οξέων (η μείωση αυτών των οξέων αυξάνει την υδροφοβικότητα). Εξηγεί επίσης γιατί τα δισθενή μεταλλικά κατιόντα όπως ο σίδηρος, ο χαλκός και ο ψευδάργυρος θα προωθήσουν την σταθερότητα του αφρού.

- Ζύμωση:** Εάν υποθέσει κάποιος ότι μια υγιής ζύμη είναι δυνατό να προκαλέσει μια υγιή ζύμωση, τότε το αποτέλεσμα αυτού θα είναι η αυξημένη σταθερότητα του αφρού, καθώς και η παραγωγή υψηλής ποιότητας αφρού. Οι ζύμες παράγουν μια ποικιλία υποπροϊόντων, συμπεριλαμβανομένων των λιπιδίων, των οποίων η σύνθεση αυξάνεται όταν βρίσκονται σε καταστάσεις στρες. Η μαγιά εκκρίνει επίσης ένα ένζυμο που ονομάζεται πρωτεϊνάση Α, της οποίας τα επίπεδα παραγωγής είναι υψηλότερα σε περίπτωση που η ζύμη είναι καταπονημένη, με αποτέλεσμα να έχουμε χαμηλότερα επίπεδα σταθερότητας του αφρού. Παράγοντες που είναι γνωστό ότι συμβάλλουν στην αύξηση της έκκρισης πρωτεϊνάσης Α, είναι τα χαμηλά επίπεδα FAN και τα υψηλά επίπεδα αλκοόλης, καθώς και το διαλυμένο διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Μελέτες έχουν αποδείξει ότι οι αφρώδεις δραστικές πρωτεΐνες θα συνεχίσουν να αποικοδομούνται στη φιάλη και ότι τα ένζυμα είναι περισσότερο δραστικά σε θερμοκρασία δωματίου, από ότι σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Γι'

αυτό το λόγο, για να διατηρηθεί ο αφρός πρέπει η μπίρα να αποθηκεύεται σε χαμηλές θερμοκρασίες.

- **Η επιλογή του ποτηριού:** Η επιλογή του ποτηριού ξεφεύγει από τους χημικούς παράγοντες που συμβάλλουν θετικά στην διατήρηση της σταθερότητας του αφρού της μπίρας, αλλά αποτελεί μια σημαντική παράγραφο στην ενίσχυση αυτού του φαινομένου. Το ποτήρι που επιλέγει ο καταναλωτής μπορεί να επηρεάσει τη διαμόρφωση του αφρού. Ένα ψηλό και στενό ποτήρι, είναι μια καλή επιλογή αφού ελαχιστοποιεί την έκθεση στον ατμοσφαιρικό αέρα και μειώνει τη δυνατότητα έκλυσης CO₂. Η χρησιμοποίηση του στενού ποτηριού ουσιαστικά «καλύπτει» την μπίρα, επιτρέποντας έτσι την αύξηση της πίεσης εντός του χώρου, παρατείνοντας τον χρόνο ζωής του αφρού. Για παράδειγμα, πολλές βαυαρικές μπίρες και Pilsners σερβίρονται σε ψηλά στενά ποτήρια για να διατηρηθεί ο αφρός, καθώς και η συνολική παρουσίαση της μπίρας.

4.5. Παράγοντες που επηρεάζουν αρνητικά τον αφρό

Μετά την δημιουργία και την σταθεροποίηση του αφρού της μπίρας, ξεκάνει μια φάση κατά την οποία ο αφρός αρχίζει να καταρρέει και να απομακρύνεται. Ακριβώς όπως υπάρχουν στοιχεία που συμβάλλουν στο σχηματισμό και τη σταθερότητα του αφρού της μπίρας, υπάρχουν επίσης στοιχεία που επιταχύνουν την ταχύτητα με την οποία καταρρέει ο αφρός. Οι ζυθοποιοί τείνουν να σκέφτονται αυτά τα αφρώδη αρνητικά στοιχεία ως κάτι που πρέπει να αποφευχθεί. Αν και σε υπερθετικό βαθμό, είναι φυσικά ανεπιθύμητα. Ωστόσο, εάν η μπίρα δεν περιείχε αφρώδη αρνητικά στοιχεία, ο αφρός θα συνέχιζε να σχηματίζεται καθώς οι μπίρες διοχέτευαν διοξείδιο του άνθρακα. Κατά συνέπεια, αν αυτός ο αφρός δεν ήταν πτυσσόμενος, σύντομα θα αποτελούσε εμπόδιο στην κατανάλωση της μπίρας. Ως εκ τούτου, υποστηρίζεται ότι τα αφρώδη αρνητικά στοιχεία είναι εξίσου σημαντικά για τον αφρισμό, όταν όμως παρουσιάζονται στις επιθυμητές ποσότητες.



Εικόνα 4.γ

Αυτά είναι:

- **Απορρόφηση-Αποστράγγιση:** Ο νεοσχηματισμένος αφρός βρίσκεται σε σχετικά υγρή κατάσταση. Συνεπώς το υγρό θα αποστραγγίζεται μέσω της υγρής φάσης των φυσαλίδων. Καθώς αυτό συμβαίνει, ο όγκος του αφρού αλλάζει λίγο, αν και γίνεται πολύ λιγότερο πυκνός. Τελικά, ο αφρός στην κορυφή «στεγνώνει» και αυτό που απομένει είναι ο αφρός με πυκνότητα, που είναι πιο κοντά στην αέρια φάση από ότι στην υγρή. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται αποστράγγιση. Ο υγρός αφρός που ανεβαίνει και υποχωρεί γρήγορα, τείνει να μην αφήνει πολλά υπολείμματα αφρού που κατακρατούνται στην επιφάνεια του ποτηριού, τα όποια με την σειρά τους ευνοούνται πολύ με την παρουσία ενός σχετικά σταθερού και ξηρού αφρού.
- **Διαφοροποίηση Μεγέθους Φυσαλίδων:** Οι μικρότερες φυσαλίδες είναι υπό μεγαλύτερη πίεση σε σχέση με τις μεγαλύτερες φυσαλίδες. Η ποσότητα επιφάνειας ανά μονάδα όγκου είναι μεγαλύτερη σε μια μικρή φυσαλίδα από ότι σε μια μεγάλη φούσκα. Έτσι, οι μικρότερες φυσαλίδες έχουν περισσότερη επιφάνεια που τους πιέζει ανά μονάδα όγκου, από τις μεγαλύτερες φυσαλίδες. Σε αφρούς στους οποίους το αέριο είναι διαλυτό στην υγρή φάση των φυσαλίδων, το αέριο διαχέεται από φυσαλίδα σε φυσαλίδα με καθαρή ροή και κατευθύνεται από μικρότερες φυσαλίδες σε μεγαλύτερες. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται διαφοροποίηση. Αυτή η διαδικασία ουσιαστικά αποτελεί έναν κύκλο, όπου καθώς μια μικρή φυσαλίδα δίνει

αέριο σε μια μεγαλύτερη φυσαλίδα, γίνεται μικρότερη (και κάτω από μεγαλύτερη πίεση) ενώ η μεγάλη φυσαλίδα γίνεται μεγαλύτερη (και κάτω από μικρότερη πίεση). Ο καθαρός ρυθμός διάχυσης από μία μικρή φυσαλίδα σε μία μεγαλύτερη αυξάνεται συνεχώς, μέχρι να σκάσει η μεγάλη φυσαλίδα. Ένας αφρός που αποτελείται από φυσαλίδες ιδίου μεγέθους ονομάζεται «μονοδιάστατος» αφρός. Αντίθετα όταν υπάρχει ποικιλομορφία στα μεγέθη των φυσαλίδων τότε ο αφρός χαρακτηρίζεται «πολυδιάστατος». Στο ποτήρι της μπίρας, ο αφρός ξεκινάει κοντά στο μονοδιάστατο άκρο του φάσματος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στην πρώτη δέσμη φυσαλίδων, σχηματίζονται ταυτόχρονα, όταν χύνεται η μπίρα και όλες οι φυσαλίδες έχουν σχεδόν το ίδιο μέγεθος. Στην συνέχεια ο αφρός αρχίζει να συγχωνεύεται και η πίεση του αερίου αρχίζει να εξισορροπείται μέσω δυσαναλογίας, με αποτέλεσμα ο αφρός να μετατρέπεται σε πολυδιάστατος.

- **Αλκοόλη:** Η αιθανόλη, η πιο άφθονη αλκοόλη που παράγεται κατά τη ζύμωση της μπίρας, αποτελεί έναν αρνητικό παράγοντα που επηρεάζει τον αφρό. Αναμένεται ότι η αιθανόλη επηρεάζει τη σταθερότητα του αφρού, δηλαδή ουσιαστικά μειώνει τόσο τη στατική όσο και τη δυναμική επιφανειακή τάση. Ο Brierley το (1996) διαπίστωσε με ένα τεστ μικροαγωγιμότητας, ότι υψηλά επίπεδα αιθανόλης μειώνουν τη σταθερότητα του αφρού, ενώ αντίθετα χαμηλές συγκεντρώσεις βελτιώνουν την σταθερότητα του, όπως αποδεικνύεται και με την χρήση της μεθόδου Rudin. Οι μη αλκοολούχες μπίρες παρουσιάζουν χαμηλά επίπεδα αφρού. Εάν αυξηθεί όμως το ποσοστό της αλκοόλης στην μπίρα από 0-1%, η αιθανόλη θα επιδράσει θετικά στον σχηματισμό του αφρού. Ωστόσο, σε συγκεντρώσεις >2%, αποτελεί αρνητικό παράγοντα. Οι "ανώτερες αλκοόλες" είναι οι αλκοόλες με περισσότερα από τα δύο άτομα άνθρακα που έχει η αιθανόλη και έχουν επίσης αρνητική επίδραση στον αφρό. Με άλλα λόγια, όσο πιο "ανώτερη" είναι η αλκοόλη (δηλαδή όσο περισσότερα τα άτομα άνθρακα που περιέχει), τόσο πιο επιβλαβής μπορεί να είναι για τον αφρό της μπίρας. Και τα δύο αυτά γεγονότα είναι σημαντικά όταν εξετάζουμε ισχυρές μπίρες (με υψηλό αλκοολικό βαθμό). Οι ισχυρές μπίρες έχουν μεγαλύτερες ποσότητες αιθανόλης από τις πιο ήπιες μπίρες. Παράλληλα, οι ζυμώσεις με μεγάλη βαρύτητα τείνουν να έχουν ως αποτέλεσμα μια ενισχυμένη παραγωγή ανώτερων αλκοολών. Αυτός είναι ένας από τους λόγους για τους οποίους οι συγκεκριμένες μπίρες δεν διαθέτουν μια μεγάλη βάση αφρού.

- **Λίπη:** Τα λιπίδια αποτελούν έναν από τους μεγαλύτερους δολοφόνους του αφρού της μπίρας. Σίγουρα η αφαίρεση τους μπορεί να αυξήσει την σταθερότητα του αφρού της μπίρας. Τα μικρά αυτά υδρόφοβα σωματίδια παρεμποδίζουν την αλληλεπίδραση της σταθεροποίησης του αφρού της υδρόφοβης πρωτεΐνης, δηλαδή με άλλα λόγια, τα λιπίδια στην μπίρα προάγουν τη συνένωση φυσαλίδων που οδηγούν σε γρήγορη κατάρρευση του αφρού.

Τα λιπίδια είναι μάλλον μια διαφορετική ομάδα φυσικών ουσιών. Θεωρείται ευρέως ότι τα περισσότερα λιπίδια της μπίρας προέρχονται από την βύνη και σε μικρότερο βαθμό από τον λυκίσκο. Υπό ορισμένες συνθήκες, η μαγιά μπορεί επίσης να παράγει λιπίδια που τείνουν να έχουν χαμηλότερο μοριακό βάρος και να περιλαμβάνουν υψηλό ποσοστό των C6 ή C8 λιπαρών οξέων.

Ορισμένες έρευνες προσπάθησαν να προσδιορίσουν ποια λιπίδια στη μπίρα ήταν πιο καταστροφικά για τον αφρό. Επιπλέον το (1992) διαπιστώθηκε ότι η προσθήκη 5 mg/l του γλυκολιπιδίου ήταν δύο φορές πιο επιβλαβές για τη σταθερότητα του αφρού, από ότι ήταν η αντίστοιχη προσθήκη φωσφολιπιδίου ή ουδέτερου λιπιδίου. Πιο πρόσφατα επίσης διαπιστώθηκε ότι τα C6-C10 λιπαρά οξέα είχαν μικρή επίδραση στη σταθερότητα του αφρού, ενώ τα λιπαρά οξέα με μεγαλύτερα μήκη αλυσίδας (δηλ. C16, C18), βρέθηκε να είναι όλο και περισσότερο δραστικά στην αποσταθεροποίηση του. Με λίγα λόγια, τα κορεσμένα λιπαρά οξέα μακράς αλυσίδας είναι πιο υδρόφοβα, με αποτέλεσμα να έχουν και πιο αρνητική επίδραση στην διαμόρφωση του αφρού. Πρόσφατα, ο Kobayashi το (2002) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι τα περισσότερα λιπαρά οξέα που καταστρέφουν τον αφρό, ήταν τα δι- και τρι-υδροξυοκταδεκανοϊκά οξέα (υδροϋπεροξειδία λιπαρών οξέων) που προέρχονται από τη δράση της λιποξυγενάσης στο λινολενικό οξύ.

Επιπλέον τα έλαια στο δέρμα του ανθρώπου (τα οποία περιέχουν λιπίδια), καταστρέφουν την επιφανειακή τάση και σπάνε τις φυσαλίδες. Οτιδήποτε λεκιάζει το ποτήρι της μπίρας είναι πιθανό να προκαλεί επιβλαβές περιβάλλον για τον αφρό και εξαιτίας αυτού τα ποτήρια πρέπει να καθαρίζονται προσεκτικά. Ωστόσο,

υπάρχουν λιπίδια στην ίδια την μπίρα. Το κριθάρι περιέχει λιπίδια, αλλά τα περισσότερα λιπίδια κριθαριού δεν φτάνουν άθικτα στη διαδικασία παρασκευής.

- **Πρωτεΐνωση Α:** Η ζύμη διαθέτει και ακόμα ένα άλλο στοιχείο το οποίο επιδρά αρνητικά στο αφρό της μπίρας, την πρωτεΐνωση Α. Η πρωτεΐνωση Α είναι ένα ένζυμο που αποικοδομεί τις πρωτεΐνες. Καθώς οι μεγάλες πρωτεΐνες είναι το κύριο αφρώδες θετικό στοιχείο στον αφρό της μπίρας, η πρωτεΐνωση Α έκτος από την θετική της δράση μπορεί να προκαλέσει και βλάβες. Η μεγαλύτερη ποσότητα πρωτεΐνωσης Α παρατηρείται κατά την ζύμωση του ζυθογλεύκου, το οποίο αποτελεί ένα φαινόμενο υψίστης προσοχής. Οι ζυμώσεις υψηλής βαρύτητας ενισχύουν τη ζύμη περισσότερο από χαμηλότερες ζυμώσεις βαρύτητας. Η καλή ζύμωση όχι μόνο θα μειώσει την ποσότητα των ανώτερων αλκοολών, αλλά και την ποσότητα της πρωτεΐνωσης Α. Ταυτόχρονα και τα δύο αυτά φαινόμενα θα ωφελήσουν τον σχηματισμό και την σταθερότητα του αφρού της μπίρας.

4.6. Αντιμετώπιση προβλημάτων αφρού της μπίρας

Α προτεραιότητα :

1. Το CO₂ και το O₂ στην σωστή προδιαγραφή, την πρώτη φορά.
2. Αρχικό εκχύλισμα αλκοόλης σύμφωνα με τις προδιαγραφές.
3. Πικράδα σύμφωνα με τις προδιαγραφές.
4. Ζύμωση υπό έλεγχο, επιτρέποντας τον χρόνο παραμονής στο ζυμωτήρα να πετυχαίνει τον στόχο και την αφαίρεση ζύμης μέσα στο απαιτούμενο «παράθυρο».
5. Όχι περισσότερες από πέντε «γενιές» σωστά αποθηκευμένης και χειρισμένης μαγιάς.
6. Περιορισμός του μήκους βρασμού και του ποσοστού εξάτμισης.
7. Ελαχιστοποίηση όλη της διαδικασίας αφρισμού.
8. Έλεγχοι εξόδου: ηλικία μπίρας στο εμπόριο, διαδικασίες πλυσίματος γραμμής και γυαλιού και ρυθμίσεις διανομής.

B προτεραιότητα :

1. Άλεσμα : ποσοστό βύνης, βύνης σιταριού, μικροποιημένων δημητριακών και κρυσταλλικής βύνης.
2. Υψηλότερη πρακτική θερμοκρασία πολτοποίησης.
3. Όξυνση πολτού(pH< 5.1).
4. Αποφυγή εξωγενών ενζύμων.
5. Ποιότητα λυκίσκου
6. Αντιψυκτικά
7. Isinglass ως συνδετικά λιπιδίων.
8. Διαύγεια μπίρας πρώην-ψυχρής δεξαμενής έναντι των αναγκών διήθησης: αποφεύγεται η υπερδιήθηση
9. Αναστολή πικρισμού (μειωμένα ισομερισμένα εκχυλίσματα)
10. PGA – μεταλλικά ιόντα
11. Αέριο άζωτο

Γ προτεραιότητα :

1. Χρήση λιγότερο καλά τροποποιημένης βύνης
2. Αποφυγή ανάπαυσης σε χαμηλή θερμοκρασία στην πολτοποίηση
3. Ενίσχυση της σαφήνειας της βύνης που εισέρχεται στο ζυμωτήριο

4.7. Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, οι κύριοι παράγοντες που θα παίξουν θετικό ρόλο στην διατήρηση και τον σχηματισμό του αφρού της μπίρας είναι οι πρωτεΐνες, κυρίως η LTP1 και η πρωτεΐνη Z άλλα και τα ισο-άλφα-οξέα. Επίσης υπάρχουν πρόσθετα που ενισχύουν το αφρό, όπως η Propylene glycol alginate(**PGA**) και τα τετρα-ισο-αλκαλικά οξέα και το χημικά τροποποιημένο εκχύλισμα λυκίσκου. Η βύνη σιταριού έχει περισσότερη πρωτεΐνη από τη βύνη κριθαριού, επομένως εμφανίζει συγκριτικά καλύτερα αποτελέσματα ως προς τον αφρό. Αυτό μπορεί βεβαία καμία φόρα να μην λειτουργήσει και να δημιουργηθούν μειονεκτήματα. Εάν εμφανιστεί δυσκολία στην δημιουργία ενός ικανοποιητικού αφρού, πιθανότατα δεν οφείλεται σε έλλειψη πρωτεΐνης. Σε αυτή την περίπτωση, η προσθήκη

βύνης σίτου δεν πρόκειται να βοηθήσει. Μπορεί επίσης να οφείλεται στην εμφάνιση και τον σχηματισμό θολώματος.

Κατά τη διάρκεια της ζύμωσης, η ζύμη εκκρίνει αλκοόλη, λιπίδια και πρωτεΐνωση Α (μαζί με πολλά άλλα υποπροϊόντα ζύμωσης). Όλα αυτά τα στοιχεία δημιουργούν ένα αρνητικό περιβάλλον για τον αφρό. Η ζύμη θα εκκρίνει πάντα μερικά λιπίδια κατά την διάρκεια ζύμωση της μπίρας. Ωστόσο, εάν εκτελεστεί σωστά, τα στοιχεία που προκαλούν την κατάρρευση του αφρού θα μείνουν σε χαμηλά και επιθυμητά επίπεδα.

5. ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΦΡΟΥ

5.1. Εισαγωγή

Ο αφρός της μπίρας είναι η πρώτη αίσθηση μετά την έκχυση που εντυπώνεται στον καταναλωτή. Ο καταναλωτής κρίνει την ποιότητα της μπίρας αξιολογώντας την με τις αισθήσεις του και η γενική εντύπωση που του δημιουργείται αποτελείται από την κρίση των χαρακτηριστικών της. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της μπίρας χωρίζονται σε δυο κατηγορίες: στα πραγματικά και στα χαρακτηριστικά αντικατάστασης. Τα πραγματικά χαρακτηριστικά είναι το σχήμα, η υφή, το χρώμα, ο ρυθμός διάλυσης, η προσκόλληση του αφρού στα γυάλινα τοιχώματα του ποτηριού και ιδίως η εμφάνιση και η σταθερότητα του τελικού στρώματος του αφρού. Στα χαρακτηριστικά αντικατάστασης περιλαμβάνεται το χρώμα της μπίρας που μετρείται φασματοφωτομετρικά, η περιεκτικότητα σε διοξείδιο του άνθρακα, η πυκνότητα του αφρού και η σταθερότητα του. Κατά την μέτρηση του αφρού της μπίρας εφαρμόζονται οι παρακάτω αρχές:

- Οπτική αξιολόγηση (περιγραφή αφρού)
- Μέτρηση του ρυθμού πτώσης της επιφάνειας του αφρού
- Μέτρηση άλλων φυσικών ιδιοτήτων του αφρού

- Μέτρηση της ικανότητας αφρισμού

Ταυτόχρονα η ποιότητα του γυαλιού του ποτηριού και η καθαρότητα του έχουν σημαντική επίδραση στον αφρό της μπίρας καθώς και οι συνθήκες του περιβάλλοντα χώρου όπως η θερμοκρασία , η υγρασία και η πίεση.

Όταν μετατρέπεται ο αφρός σε μπίρα ή το αντίθετο η πυκνότητα του FD (πυκνότητα του αφρού) , η οποία προσδιορίζεται ως ποσοστό του όγκου της μπίρας στον αφρό ή το αντίθετο , καταγράφεται χρονικά. Για τον υπολογισμό της πυκνότητας του αφρού χρησιμοποιείται η σχέση $FD = (VBT - VB) / (VT - VB)$ όπου:

- VBT είναι ο συνολικός όγκος μπίρας στον αφρό που αρχικά αποσυντίθεται-στην αρχική ανάλυση
- VT είναι ο συνολικός όγκος αφρού και μπίρας
- VB είναι ο όγκος της μπίρας κάτω απ' τον αφρό

Η πυκνότητα και η ποιότητα του αφρού αξιολογείται επίσης με την μέτρηση της αγωγιμότητας του, επειδή ο υγρός αφρός περιέχει πολλή μπίρα και άρα μπορεί να έχει μια υψηλή αγωγιμότητα. Οι Glenister και Segel το 1996 αξιολόγησαν με αυθεντικό τρόπο την ποιότητα του αφρού χρησιμοποιώντας το ιξώδες.

Η διαδικασία των Jackson & Bamforth βασίζεται στην σταδιακή απελευθέρωση του αφρού της μπίρας από τη χοάνη, σχηματίζοντας έτσι δακτύλιους . Ο αφρός που προσκολλάται στην συνέχεια ξεπλένεται με αποσταγμένο νερό , λαμβάνεται και μετράται η απορρόφηση στα 230nm και συγκρίνεται με την απορρόφηση από μία κατάλληλα αραιωμένη μπίρα.

Το αποτέλεσμα αναφέρεται ως δείκτης πρόσφυσης.

Οι πιο κοινές μέθοδοι εκτίμησης του αφρού βασίζονται σε ιδέες των Helm, Blom, Ross και Clark και μετράνε το ρυθμό αποστράγγισης του αφρού από την μπίρα. Διαφέρουν μόνο στα μέσα με τα οποία σχηματίζεται ο αφρός και αξιολογείται η αποστράγγιση. Για παράδειγμα η μέθοδος Rudin αφρίζει ένα δείγμα απαερωμένης μπίρας μεταβιβάζοντας CO₂ μέσω ενός πυροσυσσωματωμένου δίσκου. Μετράται ο χρόνος που θα παρθεί για μια προκαθορισμένη ένταση της αποστράγγισης. Ο Rudin αποδίδει τον χρόνο ημιζωής του αφρού ως HRV(τιμή συγκράτησης αφρού) σε δευτερόλεπτα. Η μέθοδος Sigma ανεβάζει τον

αφρό ρίχνοντας μπίρα σε ένα χωνί ευθείας πλευράς με μια βρύση κάτω. Η μέθοδος συγκρίνει, σύμφωνα με ένα αυστηρό πρόγραμμα χρόνου, τον όγκο της μπίρας που αποστραγγίζεται στον όγκο της μπίρας που παραμένει στον αφρό και αναφέρει μια τιμή Sigma (Σ). Ένα πρόβλημα με όλες τις μεθόδους αποστράγγισης (ιδιαίτερα ίσως, αυτές που εξαρτώνται από τον τεχνητό αφρισμό των απαεωρομένων μπιρών) είναι ότι η αποστράγγιση αφρού είναι μόνο ένας από τους καθοριστικούς παράγοντες σταθερότητας αφρού της μπίρας και τείνουν να τονίζουν υπερβολικά το ρόλο του ιξώδους στην σταθερότητα του αφρού. Επιπλέον, η αποστράγγιση δεν είναι το πως γίνεται αντιληπτή η σταθερότητα του αφρού στους καταναλωτές. Επομένως υπάρχει κακή συσχέτιση μεταξύ του HRV και των παρατηρήσεων των καταναλωτών. Η αγωγιμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του όγκου του αφρού (αρχή Bloom). Οι μέθοδοι έκχυσης των Constant και Yasui μετρούν το βάθος του αφρού της μπίρας, με την πάροδο του χρόνου, μετά την έκχυση. Από αυτά τα δεδομένα ο Yasui υπολογίζει μια τιμή FCT (χρόνος α κατάρρευσης αφρού) και η μέθοδος Constant μια τιμή NHL (κανονικοποιημένος χρόνος ημιζωής). Καμιά από αυτές τις τιμές δεν έχει σχέση με τις τιμές αφρού του ASBC (Sigma) για τις ίδιες μπίρες. Ωστόσο, τόσο το FCT όσο και το NHL συσχετίζονται καλά με τις παρατηρήσεις των καταναλωτών για τον αφρό.

5.2 Μέθοδοι μέτρησης της σταθερότητας του αφρού

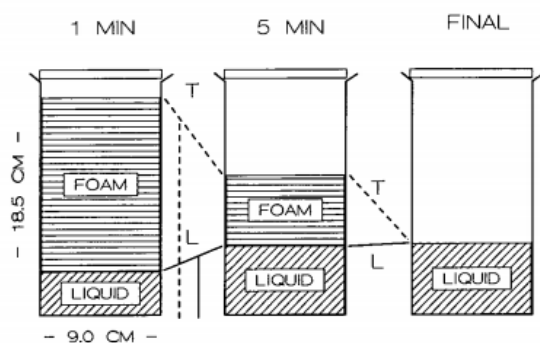
5.2.i Μέθοδος Sigma

Υπάρχουν δύο επίσημες μέθοδοι ASBC για τη μέτρηση των ιδιοτήτων του αφρού της μπίρας. Και οι δύο μέθοδοι περιλαμβάνουν την ταχύτητα κατάρρευσης του αφρού. Η τροποποιημένη τιμή Carlsberg Sigma είναι μια από αυτές τις μεθόδους. Η ιδέα της αξίας της Sigma εισήχθη για πρώτη φορά από τον Ross και Clark, και εφαρμόστηκε και στις δύο μεθόδους των Blom και Carlsberg. Το δείγμα της μπίρας χύνεται σε ειδική χοάνη αφρού για την παραγωγή αφρού μέχρι ο συνολικός όγκος να φτάσει τα 800mL και στην συνέχεια η χοάνη καλύπτεται. Μετά από 30 δευτερόλεπτα, το υγρό στο πυθμένα της χοάνης αποστραγγίζεται σε 25-30 δευτερόλεπτα αφήνοντας μόνο αφρό στο χωνί. Μετά από ακριβώς 200 δευτερόλεπτα από την αποστράγγιση του υγρού, το υγρό που δημιουργήθηκε

πρόσφατα από την κατάρρευση του αφρού τα τελευταία 200 δευτερόλεπτα αφαιρείται από το χωνί μέσα σε 25-30 δευτερόλεπτα. Ο συνολικός χρόνος κατάρρευσης αφρού, ο οποίος θα είναι μεταξύ 225-230 δευτερόλεπτα, καταγράφεται. Ο υπόλοιπος αφρός στη διοχέτευση συρρικνώνεται χρησιμοποιώντας παράγοντα αφαίρεσης ορυκτής όπως οκτανόλη ή ισοπροπυλική αλκοόλη και το υγρό από το οποίο καταρρέει ο αφρός συλλέγεται. Η σταθερότητα του αφρού θα περιγραφεί ως "καλή", "μέση" και "φτωχή" για >105, 95-105 και <95 δευτερόλεπτα, αντίστοιχα.

5.2.ii Μέθοδος Constant

Η Marc Constant, Miller Brewing Co., ανέπτυξε μια εξαιρετικά φθηνή και εύκολη μέθοδο η οποία θα μπορούσε ενδεχομένως να μιμηθεί τη συμπεριφορά του αφρού στον καταναλωτή. Στη μέθοδο αυτή, ένα μπουκάλι μπίρας διατηρείται σε θερμοκρασία δωματίου στους 20 ° C και χύνεται σε ψηλό ποτήρι του 1 λίτρου από το καθορισμένο ύψος και γωνία. Όταν ολόκληρος ο όγκος του δείγματος αδειάσει στη φιάλη, η μέτρηση ξεκινά και συνεχίζεται για πέντε λεπτά. Το συνολικό ύψος καθώς και το ύψος του υγρού καταγράφονται σε 1, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0 και 5.0 λεπτά και το ύψος αφρού υπολογίστηκε με βάση αυτές τις δύο τιμές, δηλαδή αφαιρώντας το ύψος του υγρού από το συνολικό ύψος. Το ύψος του αφρού μετασχηματίστηκε με λογαρίθμους για να δημιουργηθεί μια αρκετά γραμμική εξίσωση για να αποκτήσει την κλίση της και μπορεί ο ζυθοποιός να την παρακολουθεί, υποδεικνύοντας τον ρυθμό κατάρρευσης αφρού και την ικανότητα αφρισμού αντίστοιχα.



Εικόνα 5.α: Αναπαράσταση αλλαγών και μετρήσεων του συνόλου και τιμές υψομετρικού υγρού με την πάροδο για δοκιμή αφρού 1 λίτρου από ποτήρι ζέσεως

Πηγή:(A Practical Method for Characterizing Poured Beer Foam Quality, November 14,1991, Marc Constant)

Το ύψος του αφρού (F) υπολογίζεται σύμφωνα με τα (T - L) και ο ρυθμός κατάρρευσης του αφρού υπολογίζεται σύμφωνα με το τύπο:

$$\ln (F) = \alpha + bt$$

Παρόλο που αυτή η μέθοδος έχει σχεδιαστεί γύρω από την έννοια της κατάρρευσης αφρού / αποσύνθεσης, μπορεί να αποκτήσει εύκολα την «ετικέτα» για τη μέθοδο αποστράγγισης αφρού με διερεύνηση του ύψους του υγρού με την πάροδο του χρόνου. Συνοψίζοντας αυτή αποτελεί μια μέθοδο, για να αντιπαραβληθεί με την μέθοδο NIBEM και την μέθοδο Steinfurth, οι οποίες βασίζονται στην οργάνωση της μέτρησης του αφρού που παράγεται από την πίεση της μπίρας υπό πίεση μέσω ενός στομίου.

5.2.iii Μέθοδος μέτρησης του χρόνου κατάρρευσης του αφρού (FCT)

Στη συγκεκριμένη μέθοδο η μπίρα ρυθμίζεται σε θερμοκρασίες δωματίου 6 °C και 20 °C , αντίστοιχα. Η μπίρα στην συνεχεία χύνεται στην φιάλη προσεκτικά έτσι ώστε να επιτευχθεί ομαλή ροή. Το δείγμα μεταφέρεται από τη φιάλη σε γυάλινο δοχείο για να επιτευχθεί αναλογία 2: 3 μεταξύ αφρού και υγρού μετά από 10 δευτερόλεπτα ροής με αποτέλεσμα το συνολικό βάρος δείγματος να ανέρχεται στα 150 γραμμάρια. Ο χρόνος που απαιτείται για την αποκατάσταση του 40% του αφρού καταγράφεται ως η τιμή του χρόνου κατάρρευσης αφρού. Μια αισθητική ανάλυση στα δείγματα της μπίρας πραγματοποιείται επίσης για να αξιολογηθεί η σταθερότητα του αφρού και η ικανότητα αφρισμού. Οι τιμές από την μέθοδο FCT δεν συσχετίστηκαν στην τιμή Sigma (5,4% συσχέτιση). Ωστόσο, βρήκαν μεγάλη συσχέτιση μεταξύ της τιμής FCT και της συνολικής βαθμολογίας οπτικής εμφάνισης από την αισθητική ανάλυση. Οι τιμές NIBEM, Rudin και Sigma βρέθηκαν να μην έχουν καμία συσχέτιση με το αισθητική βαθμολογία. Αυτή η μέθοδος είναι εξαιρετικά εξειδικευμένη για την κατανάλωση μπίρας στην Ιαπωνία και δεν θα είναι αξιόπιστη σε άλλες αγορές, όπως αυτή των ΗΠΑ ή της Ευρώπης, αν και υπάρχει δυνατότητα τροποποίησης, ειδικά όσον αφορά την αναλογία αφρού-υγρού.

5.2.iv Μέθοδος Steinfurth (FST)

Ο μετρητής σταθερότητας αφρού Steinfurth είναι ένας από τους νεότερους μετρητές αφρού και είναι πλήρως αυτοματοποιημένος από τη δειγματοληψία έως τον καθαρισμό. Το δείγμα της μπίρας (περίπου 164 ml σε υγρό όγκο) θα μετατραπεί σε αφρό κάτω από 4,0 bar κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της δειγματοληψίας. Μόλις ολοκληρωθεί η έγχυση του δείγματος, αρχίζει να μετράει το χρόνο σε δευτερόλεπτα. Το υγρό αποστραγγίζεται από το πλέγμα αφρού και οι δυο οπτοηλεκτρονικοί αισθητήρες που βρίσκονται πίσω από τη στήλη καταγράφουν τον χρόνο της επαφής του αφρού-υγρού. Η σταθερότητα του αφρού (FSF), η οποία ισχυρίζεται ότι συσχετίζεται με την τιμή Sigma από την μέθοδο Ross και Clark είναι 120% της τιμής HL. Η μονάδα αυτή δίνει τη επιλογή μεμονωμένων ή πολλαπλών μετρήσεων. Η μεμονωμένη μέτρηση της σταθερότητας του αφρού (FSF) του δείγματος εκτελείται μία φορά, ενώ πολλαπλές εκτελούνται δυο φορές. Όταν επιλέγεται η πολλαπλή μέτρηση, την δεύτερη φορά η μέτρηση τείνει να είναι ελαφρώς υψηλότερη στο FSF διότι η πίεση στο συνδεδεμένο διοξείδιο του άνθρακα είναι αρκετά υψηλότερη από το τυπικό επίπεδο διαλυτού CO₂ της μπίρας. Η έννοια της μονάδας Steinfurth προέρχεται από τη μέθοδο Rudin. Η κυριότερη όμως διαφορά του Steinfurth-FST από τη μέθοδο Rudin, εκτός από την πλήρη αυτοματοποίηση της μεθόδου, είναι ότι η μπίρα που χρησιμοποιείται στη μονάδα του Steinfurth δεν είναι απαερωμένη σε αντίθεση με εκείνη του Rudin. Διαφορετικά όλες οι άλλες συνθήκες είναι πανομοιότυπες

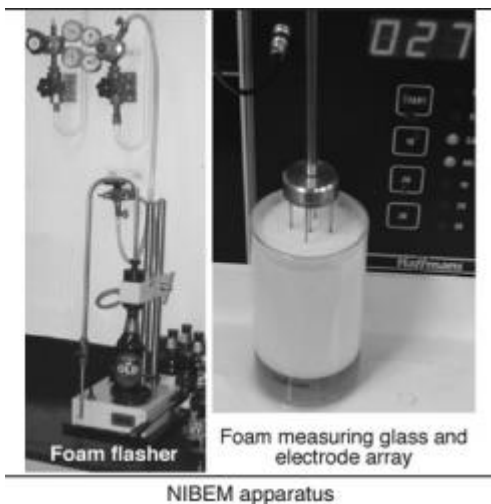
5.2. v Μέθοδος Nibem

Η μέθοδος μέτρησης σταθερότητας του αφρού NIBEM (NIBEM-FST) αποτελεί μια από τις δυο κυρίες μεθόδους μέτρησης της σταθερότητας του αφρού (η δεύτερη είναι η μέθοδος **RUDIN**) και σήμερα χαρακτηρίζεται ως η επίσημη μέθοδος. Οι συνθήκες του περιβάλλοντος ορίζονται ως εξής : θερμοκρασία 20°C, 50% RH και 1013 mbar για τη θερμοκρασία αφρού, και την ατμοσφαιρική πίεση, αντίστοιχα. Ένας τυποποιημένος σωλήνας NIBEM (διάμετρος: 60 mm, ύψος:120 mm) γεμίζεται εξ ολοκλήρου με αφρό δημιουργώντας ομοιόμορφες και σχετικά μικρού μεγέθους φυσαλίδες. Αφού γεμίσει ο σωλήνας με αφρό, τοποθετείται αμέσως στη NIBEM-FST για να ξεκινήσει η ανάλυση. Μια κινητή πλάκα που περιέχει τρία ηλεκτρόδια χαμηλώνει έτσι ώστε να στηρίζεται απλά στην επιφάνεια του αφρού της μπίρας. Η πραγματική μέτρηση ξεκινά στα 10 mm κάτω από το χείλος του τυποποιημένου

γυαλιού. Αυτή η απόσταση των 10 mm είναι ικανή για να ελαχιστοποιηθεί η μεταβλητότητα του αρχικού σταδίου διακανονισμού του αφρού. Όσο ο αφρός συρρικνώνεται το σήμα που έρχεται από τα ηλεκτρόδια μειώνεται. Η πλάκα κινείται προς τα κάτω για τη διατήρηση της επαφής με τον αφρό. Όσο πιο γρήγορα οι βελόνες μετακινούνται προς τα κάτω διατηρώντας την επαφή, τόσο λιγότερη σταθερότητα θα εμφανίζεται στον αφρό. Από το σημείο εκκίνησης, η μονάδα καταγράφει το χρόνο που απαιτείται για να φτάσετε στα 10, 20 και 30mm και τα καταγράφει ως NIBEM10, NIBEM20 και NIBEM30, αντίστοιχα.



Εικόνα 5.β Nibem Foam Stability Tester



Εικόνα 5.γ Συσκευή Nibem

Πηγή: (Beer , A quality Perspective, Beer foam: achieving o suitable head, Charles W. Bamforth)

Τα θετικά και τα αρνητικά χαρακτηριστικά της μεθόδου NIBEM είναι :

Πλεονεκτήματα

- η μέτρηση δίνει μια καλύτερη ένδειξη για την πιθανή απόδοση του αφρού κάτω από πραγματικές συνθήκες

Μειονεκτήματα

- μπορεί να είναι δύσκολο να επιτευχθούν αναπαραγώγιμα αποτελέσματα
- η μέθοδος είναι αρκετά ευαίσθητη σε ρεύματα και ακραίες θερμοκρασίες

5.2.vi Μέθοδος Rudin

Η μέθοδος Rudin είναι μια από τις πρώτες μεθόδους υγρής αποστράγγισης και εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ευρέως σε όλη την Ευρώπη. Το απαλλαγμένο από διοξείδιο του άνθρακα δείγμα της μπίρας γεμίζεται σε ένα ψηλό γυάλινο δοχείο και φτάνει μέχρι την χαραγή των 10 cm. Η μέθοδος αυτή μετράει τη διάρκεια του χρόνου που χρειάζεται ο αφρός της μπίρας να περάσει μεταξύ δύο σημείων στον στενό σωλήνα. Στη συνέχεια το δείγμα που έχει τοποθετηθεί στον πυθμένα του σωλήνα, αρχίζει να αφρίζει έως ότου η σύνδεση αέρα-αφρού φθάσει σε σημείο 32,5 εκατοστών σε περίοδο 60-65 δευτερολέπτων. Το υγρό αφήνεται να στραγγισθεί από τον σωλήνα αφρού. Μετά η ροή του αερίου διακόπτεται και ο χρόνος που απαιτεί τη έλευση από τη επαφή του υγρού-αφρού από 5,0-7,5 εκατοστά καταγράφεται η διάρκεια του αφρού ή η τιμή κατακράτησης Rudin. Μια ικανοποιητική μέτρηση αφρού διαρκεί περισσότερο από 90 δευτερόλεπτα με την μέθοδο Rudin. Δημιουργήθηκαν ή τροποποιήθηκαν διάφορες μέθοδοι με βάση τη μέθοδο Rudin αλλά η αρχική μέθοδος Rudin εξακολουθεί να θεωρείται από πολλούς ζυθοποιούς ως η πιο χρήσιμη τιμή για τη μέτρηση της σταθερότητας του αφρού. Αυτή η μέθοδος είναι καλύτερη για τη μέτρηση του δυναμικού δυναμικό του αφρού της μπίρας και όχι την πραγματική απόδοση της μπίρας στο εμπόριο δεδομένου ότι εισάγει το δικό της επίπεδο ανθράκωσης.



(Εικόνα 5.δ Συσκευή Rudin)

Τα αντίστοιχα θετικά και αρνητικά χαρακτηριστικά της μεθόδου Rudin είναι :

Πλεονεκτήματα

- Μετράει την ικανότητα της μπίρας να αφρίζει δηλαδή το δυναμικό του αφρού.
- Εξαλείφει τις παραλλαγές που οφείλονται σε ανθρακώσεις και χρησιμοποιεί CO₂ για την παραγωγή αφρού

Μειονεκτήματα

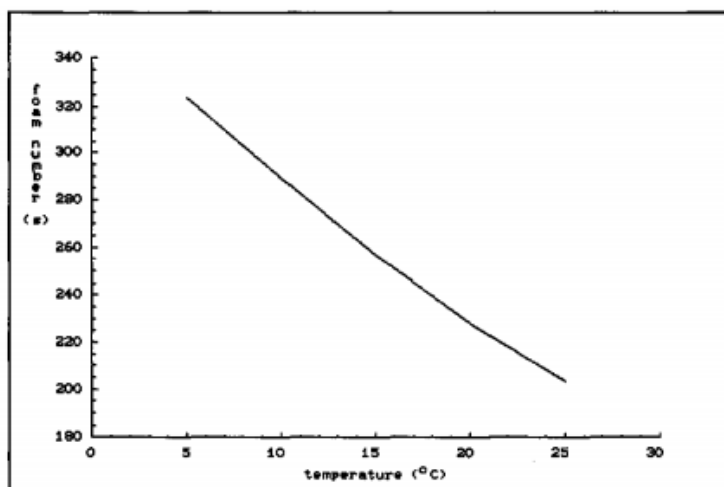
- Ο στενός γυάλινος σωλήνας έχει μεγάλη επιφάνεια και η αναλογία εμβαδού προς όγκο δεν είναι αντιπροσωπεύει τις επιδόσεις του αφρό σε ένα ποτήρι μπίρας. Το CO₂ προστίθεται ότι δεν αντικατοπτρίζει η πραγματική απόδοση του αφρού της μπίρας.

5.3 Μέθοδος Rudin

5.3.i Εισαγωγή

Ο σωλήνας Rudin, που αναπτύχθηκε και περιγράφηκε από τον Rudin (1957), βασίζεται σε μια μέθοδο που περιγράφεται από τους Ross και Clark (1939). Τα χαρακτηριστικά της μπίρας που μετρούνται κατά την μέθοδο Rudin είναι οι πρωτεΐνες (Z4 και PRM), η παγκόσμια μονάδα πικράδας της μπίρας (IBU), το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και το pH. Μια επισκόπηση σχετικά με την τεχνική του σωλήνα αποστράγγισης Rudin δίνεται από τον Bamforth (1985). Επανέλαβε τη δήλωση του Kloppner (1954), δηλαδή ότι πρέπει να χρησιμοποιούνται τα αποτελέσματα των μετρήσεων αποστράγγισης με επιφύλαξη επειδή ο καταναλωτής εκτιμά τον αφρό και όχι τον ρυθμό αποστράγγισης. Η ομοιότητα μεταξύ της μεθόδου Rudin και της μεθόδου Blom είναι ότι και στις δύο μετρήσεις λαμβάνεται υπόψη ο ρυθμός αποστράγγισης. Η χρήση του σωλήνα Rudin ή άλλων μεθόδων βασίζονται στο ότι ο βαθμός αποστράγγισης έχει αρκετά μειονεκτήματα. Αυτά τα μειονεκτήματα είναι κυρίως ότι ο αφρός και η μέτρηση είναι πολύ διαφορετική από την πρακτική κατάσταση όπως παρατηρήθηκε από το καταναλωτή. Η μπίρα είναι απαερωμένη πριν από τη μέτρηση και τα δείγματα στη συνέχεια διαχέονται με ένα διαφορετικό αέριο με αποτέλεσμα να παράγεται αφρός. Η σύσταση του αερίου στον αφρό μπορεί να είναι διαφορετική από τη σύσταση του αερίου στην πρακτική κατάσταση. Στο σωλήνα Rudin οι φυσαλίδες παράγονται μέσω ένα πορώδους γυάλινου φίλτρου. Ως εκ τούτου, για το αρχικό μέγεθος των φυσαλίδων, η κατανομή στον αφρό καθορίζεται, μεταξύ άλλων, από τον ρυθμό ροής του αερίου και το μέγεθος των πόρων. Η αρχική κατανομή του μεγέθους των φυσαλίδων μπορεί να είναι πολύ διαφορετική από την κατανομή μεγέθους των φυσαλίδων στην πράξη και, κατά συνέπεια, η πρόοδος της αποστράγγισης, η συσσωμάτωση, καθώς και η συμπεριφορά του αφρού μπορεί να επηρεαστεί. Η αρχική ιδέα της κατανομής του μεγέθους των φυσαλίδων συζητήθηκε επίσης από τους Lemlich (1978) και Ranadive και Lemlich (1979). Επίσης ο Bamforth (1985) τόνισε ότι η μέθοδος είναι πολύ ευαίσθητη στο θέμα του μεγέθους των πόρων στο φίλτρο που χρησιμοποιούνται για τη σπάσιμο των φυσαλίδων αερίου στο μπίρα. Προφανώς, το αρχικό μέγεθος φυσαλίδων στο σωλήνα Rudin έχει μεγάλη επίδραση στην αποστράγγιση. Ο ρυθμός αποστράγγισης του αφρού με μικρότερες φυσαλίδες φαίνεται να είναι χαμηλότερος από τον ταχύτητα αποστράγγισης ενός αφρού με μεγαλύτερες φυσαλίδες. Ένα άλλο μειονέκτημα του σωλήνα Rudin είναι ότι η γεωμετρία

του σωλήνα είναι πολύ διαφορετική από τη γεωμετρία ενός κανονικού ποτηριού μπίρας με αποτέλεσμα ο αφρός να εμφανίζει διαφορετική συμπεριφορά . Οι επιπτώσεις στα τοιχώματα μπορούν να επηρεάσουν το διάσπαση του αφρού. Η σύνθεση του αφρού στον σωλήνα Rudin θα είναι διαφορετική. Ο ρυθμός διοχέτευσης του διοξειδίου του άνθρακα από τον αφρό στην ατμόσφαιρα, θα επηρεαστεί. Ως εκ τούτου, ο αφρός δεν θα καταρρεύσει όπως στην πραγματικότητα. Πράγματι, η κατάρρευση του αφρού δεν αξιολογείται ακόμη και με αυτή τη μέθοδο, καθώς μέσω της μεθόδου Rudin έχουμε την ικανότητα να παρατηρήσουμε μόνο τον ρυθμό αποστράγγισης. Στον σωλήνα Rudin παράγεται πολύ αφρός από μία μικρή ποσότητα μπίρας σε σύγκριση με την πραγματική κατάσταση. Η τεχνική του σωλήνα Rudin είναι η πιο ευρέως διαδεδομένη μέθοδος που χρησιμοποιείται σήμερα στη βιομηχανία ζυθοποιίας. Ωστόσο, το κάθε ζυθοποιείο έχει κάνει τη δική του τροποποίηση και έχει ορίσει τις δικές του διαδικασίες. Επομένως, δεν μπορούν να συγκριθούν οι αριθμοί μεταξύ τους. Ο σωλήνας Rudin κατασκευάστηκε από στήλη χρωματογραφίας ελεγχόμενης θερμοκρασίας Pharmacia (600x25mm). Στο κάτω μέρος του εσωτερικού σωλήνα υπάρχει ένα G2-γυάλινο φίλτρο. Με αυτό δημιουργούνται φυσαλίδες περίπου ίδιου μεγέθους με ακριβώς τον ίδιο τρόπο όπως όταν μια μπίρα διανέμεται από ένα μπουκάλι. Κατά την διαδικασία από την μπίρα αφαιρείται το διοξείδιο του άνθρακα. Στη συνέχεια, 50 ml δείγμα μπίρας τοποθετούνται στη στήλη και παράγεται αφρός με τη διήθηση αερίου (διοξειδίου του άνθρακα ή αζώτου) στη στήλη μέχρι η χαραγή να φτάσει σε ύψος τα 33 cm. Ο χρόνος , κατά τον οποίο διαρρέει η μπίρα ανάμεσα στα δυο σημεία της στήλης μετريέται. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε 25 ° C, εκτός αν αναφέρεται διαφορετικά.



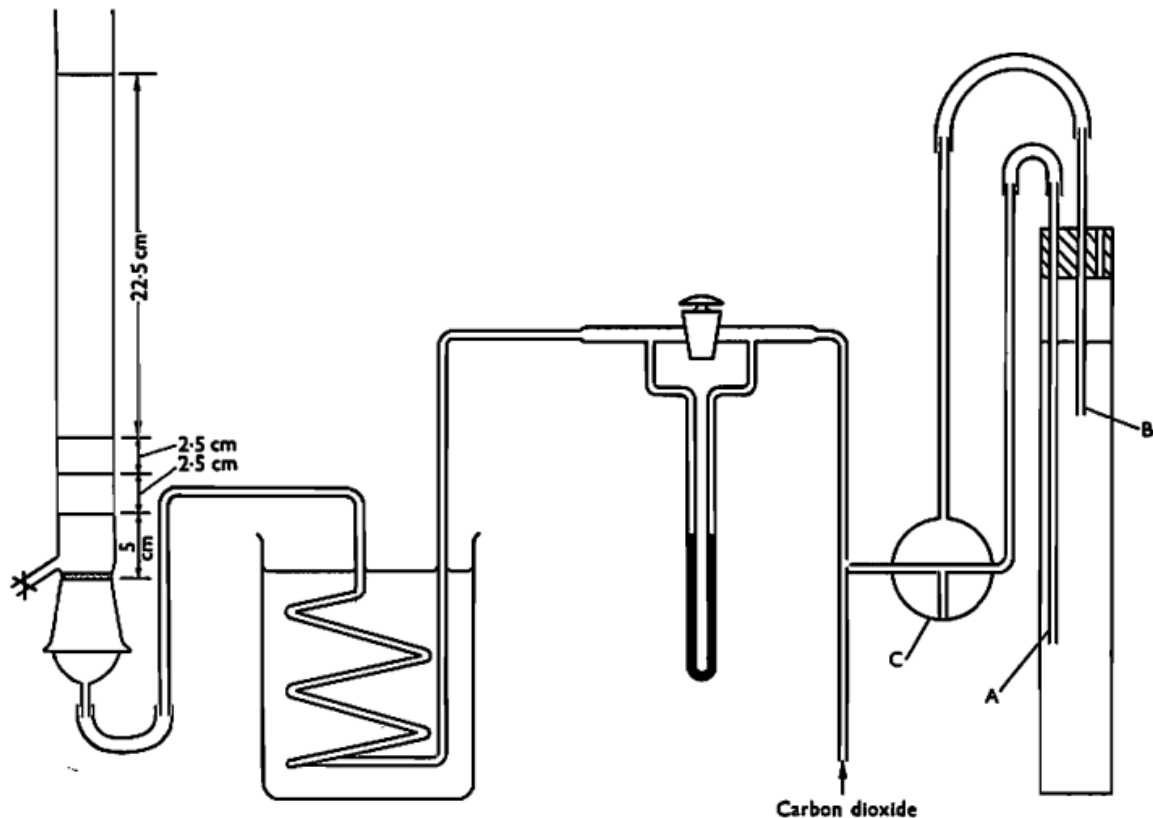
Σχήμα 1: Μέτρηση αφρού σε συνάρτηση με την θερμοκρασία που μετράται με την μέθοδο Rudin

Πηγή:(Beer Foam Physics,Measurement of the foam behavior, A.D Rontelap)

Από το διάγραμμα βγαίνει το συμπέρασμα ότι ο αφρός της μπίρας κατά την μέθοδο Rudin αυξάνεται στις χαμηλές θερμοκρασίες

5.3.ii Πειραματικό Μέρος (Rudin)

Κατά τον προσδιορισμό της σταθερότητας αφρού της μπίρας με την χρήση του πειράματος Rudin, το δείγμα αποτελείται από δύο σωλήνες με διάτρημα 2 χιλιοστών. Ο μακρύτερος σωλήνας (A) ρυθμίζει την πίεση κατά την παρασκευή του αφρού ενώ ο σωλήνας (B) τίθεται σε λειτουργία όταν ξεκινάει να μετρείται η απομάκρυνση του αφρού με χειρισμό από το σημείο (C). Το βάθος της εμβάπτισης του σωλήνα (A) ρυθμίζεται έτσι ώστε ο μηνίσκος του να βρίσκεται στα 10 εκατοστά. Χαρακτηριστικό είναι ότι ο σωλήνας (A) γεμίζει με αφρό και φτάνει την χαραγή μέχρι τα 32-35 εκατοστά σε χρόνο περίπου 60-65 δευτερόλεπτα. Η πίεση του αερίου που εφαρμόζεται στον δίσκο ρυθμίζεται από την στήλη B η οποία τοποθετείται έτσι ώστε η πίεση να είναι στο ένα επίπεδο που αρκεί για να αποτρέψει το υγρό να διεισδύσει στον δίσκο. Το αέριο λαμβάνεται από έναν κύλινδρο με ρυθμό που υπερβαίνει τις απαιτήσεις και το πλεόνασμα απελευθερώνεται πάλι πίσω στην ατμόσφαιρα. Ταυτόχρονα ένας μετρητής ροής όπως απεικονίζεται, παρέχει μια ένδειξη της ροής του αερίου στον δίσκο. Η πίεση του αερίου που εφαρμόζεται στον δίσκο και ρυθμίζεται από την στήλη B η οποία τοποθετείται έτσι ώστε η πίεση να είναι στο επίπεδο που αρκεί για να αποτρέψει το υγρό να διεισδύσει στον δίσκο. Το αέριο λαμβάνεται από έναν κύλινδρο με ρυθμό που υπερβαίνει τις απαιτήσεις και το πλεόνασμα, απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα. Ένας μετρητής ροής όπως απεικονίζεται, παρέχει μια βολική ένδειξη της ροής του αερίου στον δίσκο. Η ροή του αερίου στην πλάκα βρίσκεται σε θερμοκρασία περίπου 20 ° C το οποίο με περνά μέσα από ένα χάλκινο πηνίο βυθισμένο σε ένα λουτρό νερού σε αυτή την θερμοκρασία.



Εικόνα 5.ε: Συσσκευή για την μέτρηση του αφρού με την μέθοδο Rudin

Πηγή:(Measurement of the foam stability of beers 19 July 1959, A.D. Rudin)

Η μπίρα που πρόκειται να δοκιμαστεί, μεταφέρεται σε μια καθαρή κωνική φιάλη η οποία είναι στη συνέχεια φυλάσσεται για περίπου 2 ώρες στους 20 ° C έτσι ώστε να απομακρυνθεί το διοξείδιο του άνθρακα. Ο δίσκος στην συνέχεια εισάγεται στο σωλήνα του αφρού και ασφαρίζεται. Η στήλη B και ο σωλήνας αφρού ξεπλένονται και στη συνέχεια γεμίζονται μερικώς με το δείγμα προς δοκιμή. Η στάθμη του υγρού στο ότι ο σωλήνας ρυθμίζεται ακριβώς στα 10 εκατοστά. Το σημείο C στρέφεται για να συνδεθεί με τον σωλήνα A και το δείγμα αποκτά αφρό με αποτέλεσμα η ένδειξη να φτάσει τα 32 εκατοστά και τότε συνδέεται και ο σωλήνας B. Ο αφρός αρχίζει να καταρρέει, το υγρό που συλλέγεται στο κάτω μέρος του σωλήνα αποτελεί ένα καθορισμένο όριο για τον αφρό που έχει απομείνει. Η κίνηση αυτού του ορίου καθώς η ένδειξη φτάσει μεταξύ 5-7 cm αρχίζει να χρονομετρείται. Τέλος το δείγμα αποστραγγίζεται από τον σωλήνα αφρού μέσω ενός πλευρικού βραχίονα και η συσκευή ξεπλένεται πρώτα με νερό και στη συνέχεια με λίγο από το επόμενο δείγμα που θα δοκιμαστεί. Σε γενικές γραμμές οι τιμές της σταθερότητας της μπίρας με την μέθοδο Rudin βρίσκεται στην χρόνο 90-160 sec. Η παραπάνω μέθοδος έχει εφαρμοστεί σε μεγάλη ποικιλία από μπίρες και χάρις σε αυτήν η απλότητα και η

ακρίβεια έχουν πλέον υιοθετηθεί σε αυτά τα εργαστήρια για τον προσδιορισμό της σταθερότητα του αφρού.

6. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ CONSTANT

ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΔΙΑΤΗΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΑΦΡΟΥ ΤΗΣ ΜΠΙΡΑΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ
CONSTANT

6.1 Απαραίτητος εξοπλισμός :

- Ποτήρι ζέσεως με διαβάθμιση σε ml (διαστάσεις : ύψος 15cm, διάμετρος 11cm)
- Χωνί (διαστάσεις : ύψος 16cm, διάμετρος μεγάλη 11cm, διάμετρος μικρή 1,3cm)
- Συρμάτινη στήριξη χωνιού σε ύψος
- Λεκάνη (για τη δημιουργία του υδατόλουτρου)
- Θερμόμετρο (έλεγχος T°C)
- Ψεκαστήρι με sunny pro (καθαρισμός – αποστείρωση και απολύμανση)
- Μπίρες (7 ετικέτες x 3 δείγματα για κάθε μία ετικέτα)
- Χρονόμετρο
- Στηρικτική ξύλινη βάση για την τοποθέτηση της συρμάτινης στήριξης (για το χωνί)

Προετοιμασία Πειράματος :

- Τοποθέτηση της στηρικτικής ξύλινης βάσης σε μια ευθεία, λεία επιφάνεια.
- Εφαρμογή της συρμάτινης στήριξης πάνω στην ξύλινη βάση και σταθεροποίησή της.
- Τοποθέτηση του χωνιού στην άκρη της συρμάτινης στήριξης, με κατεύθυνση κάθετη προς το έδαφος.
- Εφαρμογή ανθεκτικής, ισχυρής κόλλας στον πυθμένα της λεκάνης, με σκοπό την ένωση του πυθμένα με την κάτω πλευρά του ποτηριού ζέσεως. Ο σκοπός αυτής της διεργασίας ήταν η ερμητική ενοποίηση τους, έτσι ώστε ο πυθμένας του ποτηριού ζέσεως να είναι παράλληλος με το έδαφος.

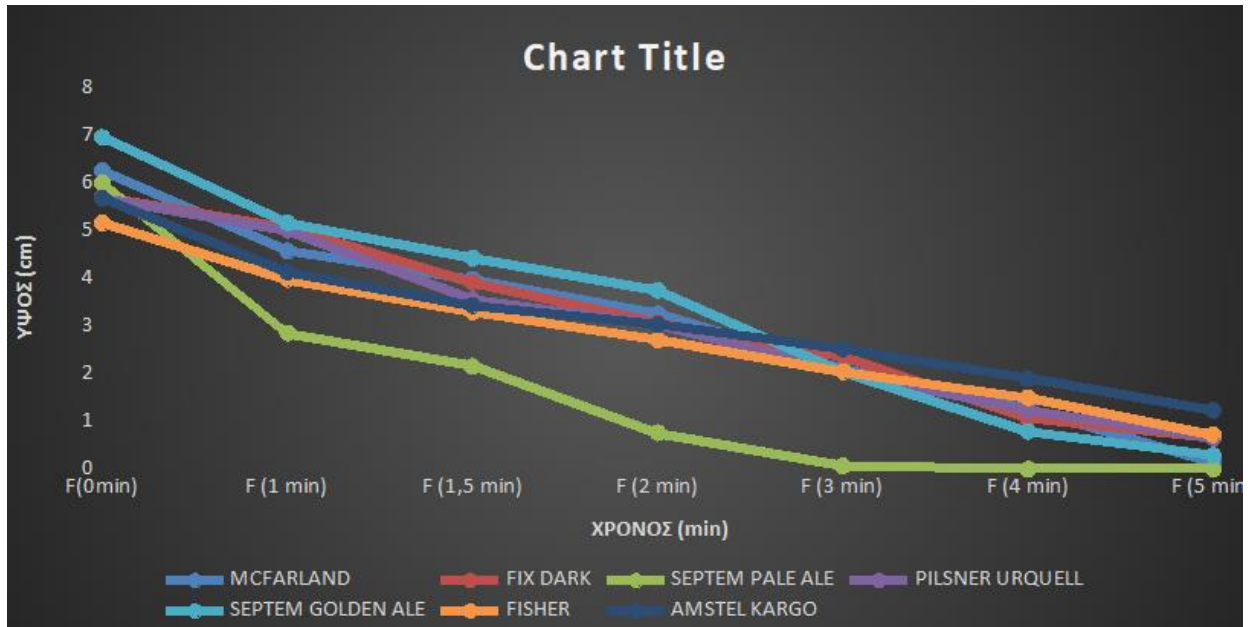
6.2 Πορεία πειράματος

Η πορεία του πειράματος ξεκινάει με το γέμισμα της λεκάνης με νερό και την σταθεροποίηση της θερμοκρασίας του, συχνά με προσθήκη πάγου ή ζεσταμένου νερού και ταυτόχρονη μέτρηση αυτής με το θερμόμετρο. Η θερμοκρασία θεωρείται ιδανική, όταν η τιμή του θερμόμετρου ισούται με 20°C . Στην συνέχεια η μπίρα χύνεται στο χωνί από το οποίο και θα κατευθυνθεί με κάθετη καθοδική πορεία προς το ποτήρι ζέσεως. Η πλήρης απόχυση της μπίρας στο ποτήρι ζέσεως θα σηματοδοτήσει την έναρξη της χρονομέτρησης. Ταυτόχρονα θα μετρηθεί το F (ύψος αφρού μπίρας) καθώς και το F/2 (μέσο ύψους αφρού). Το F/2, γνωστό και ως σημείο ημιζωής του αφρού, είναι απαραίτητη γνωστική πληροφορία ώστε να δοθεί έμφαση το χρονόμετρο. Σκοπός είναι η καταγραφή της χρονικής στιγμής που ο αφρός θα έχει φτάσει στο F/2, ως F/2 t (σε second) . Στην συνέχεια γίνεται παρατήρηση και καταγραφή σε cm το ύψος του αφρού σε 1, 1.5, 2, 3, 4 και 5 min. Επιπλέον παρατήρηση σημειώνεται και το Lt (σε second), το οποίο σηματοδοτεί την πλήρη εξουδετέρωση της επιφάνειας του αφρού. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως το Lt θα μπορούσε να πάρει τιμές μικρότερες των 5min, καθιστώντας έτσι μηδενική την μέτρηση των 5 min. Με την μέτρηση του Lt, το πείραμα έχει ολοκληρωθεί. Ακολουθεί άδειασμα της λεκάνης με το υδατόλουτρο και αυτό διότι η λεκάνη είναι κολλημένη με το ποτήρι ζέσεως, το οποίο επιβάλλεται να αδειάσει για να χρησιμοποιηθεί για την επόμενη μπίρα. Μετά το άδειασμα το ποτήρι ζέσεως απολυμαίνεται και αποστειρώνεται, με την χρήση απολυμαντικού Sanipro Rinse. Η συσκευή αφήνεται να στεγνώσει έτσι ώστε να ξεκινήσει η επόμενη χρήση με την επόμενη μπίρα. Όλη η πειραματική πορεία επαναλήφθηκε για κάθε μία μπίρα ξεχωριστά. Δηλαδή για 7 ετικέτες x 3 δείγματα για κάθε μία ετικέτα, συνεπώς 21 φορές. Στις μπίρες – ανά τεμάχιο και για κάθε ετικέτα ξεχωριστά, επιλέχθηκε παρόμοιος αριθμός παρτίδας παραγωγής εργοστασίου.

	McFarland	Fix Dark	Septem Pale Ale	Pilsner Urquell	Septem Golden Ale	Fisher	Amstel Kargo
F(cm)	6.27	5.72	5.94	5.72	6.82	5.17	5.72
	6.27	5.72	6.05	5.61	7.04	5.17	5.61
	6.27	5.72	6.05	5.72	7.04	5.17	5.72
M.O.	6.27	5.72	6.01	5.68	6.97	5.17	5.69
T.A.	0	0	0.05	0.05	0.1	0	0.05
F/2 t	127	145	40	136	137	136	135
	124	144	41	139	140	138	140
	124	147	50	140	138	138	135
M.O.	125	145.33	43.67	138.33	138.33	136.67	136.67
T.A.	1.41	1.25	4.5	1.7	1.25	0.94	2.36
L t (sec)	319	412	208	336	322	381	380
	312	413	176	319	319	380	374
	317	421	211	317	317	383	379
M.O.	316	415.33	198.33	324	319.33	381.33	377.67
T.A.	2.94	4.03	15.84	8.52	2.05	1.25	2.62
Ύψος αφρού σε cm στο 1 min	4.62	5.17	2.75	5.06	5.17	4.07	4.18
	4.51	5.06	2.86	4.95	5.06	3.96	4.07
	4.62	4.95	2.97	5.06	5.28	3.96	4.18
M.O.	4.58	5.06	2.86	5.02	5.17	4	4.14
T.A.	0.05	0.09	0.09	0.05	0.08	0.05	0.05
Ύψος αφρού σε cm στο 1,5 min	4.07	3.96	2.09	3.52	4.51	3.41	3.3
	3.96	3.85	2.2	3.52	4.29	3.3	3.52
	3.96	3.96	2.2	3.63	4.51	3.19	3.52
M.O.	4	3.92	2.16	3.56	4.44	3.3	3.45
T.A.	0.05	0.05	0.05	0.05	0.1	0.09	0.1
Ύψος αφρού σε cm στο 2 min	3.41	2.97	0.77	2.97	3.96	2.75	2.97
	3.19	3.08	0.88	3.08	3.74	2.75	3.19
	3.19	3.19	0.66	3.08	3.85	2.64	2.97
M.O.	3.26	3.08	0.77	3.04	3.85	2.71	3.04
T.A.	0.1	0.09	0.09	0.05	0.09	0.05	0.1
Ύψος αφρού σε cm στο 3 min	2.2	2.31	0.11	2.09	1.98	2.09	2.53
	2.09	2.42	0	2.09	2.09	2.09	2.64
	2.09	2.42	0.11	2.09	2.09	1.98	2.42
M.O.	2.13	2.38	0.07	2.09	2.05	2.05	2.53
T.A.	0.05	0.05	0.05	0	0.05	0.05	0.09
Ύψος αφρού σε cm στο 4 min	1.32	0.88	0	1.32	0.77	1.43	1.87
	1.32	1.1	0	1.21	0.77	1.65	1.98
	1.21	1.21	0	1.21	0.88	1.43	1.87
M.O.	1.28	1.06	0	1.25	0.81	1.5	1.91
T.A.	0.05	0.14	0	0.05	0.05	0.1	0.05
Ύψος αφρού σε cm στο 5 min	0.11	0.55	0	0.77	0.33	0.77	1.32
	0.22	0.66	0	0.55	0.22	0.77	1.21
	0.11	0.77	0	0.66	0.33	0.66	1.21
M.O.	0.15	0.66	0	0.66	0.29	0.73	1.25
T.A.	0.05	0.09	0	0.09	0.05	0.05	0.05

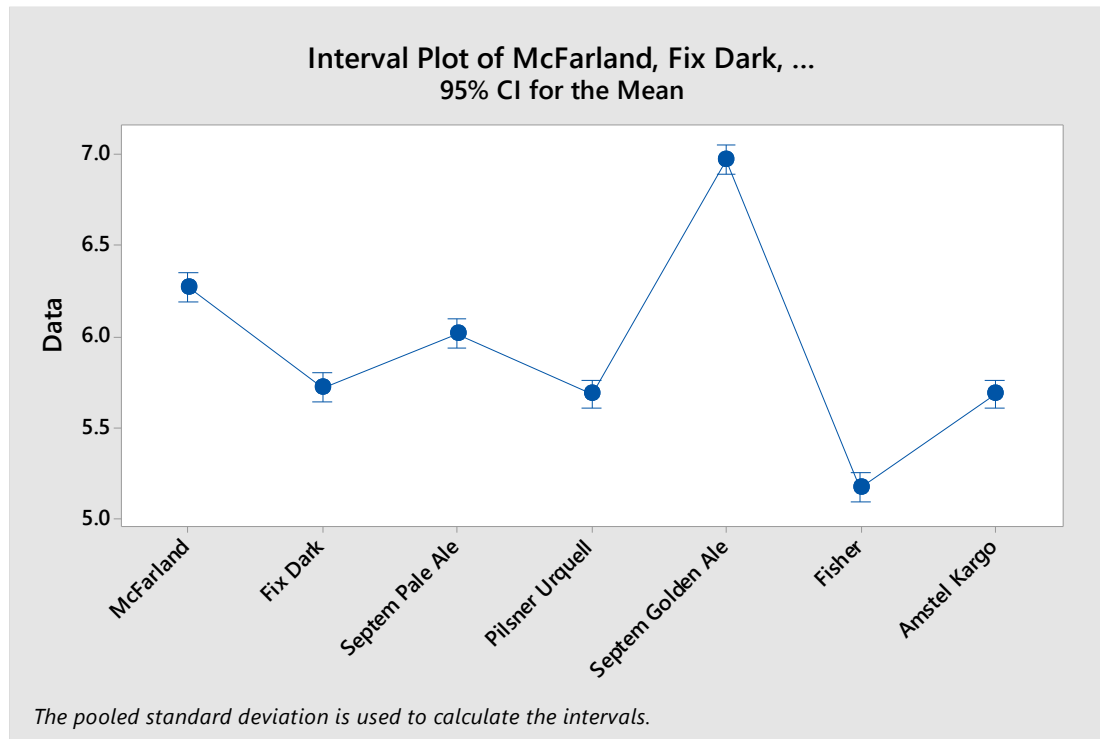
- F: το ύψος του αρχικού αφρού
- F/2: ο απαιτούμενος χρόνος για να φτάσει το ύψος του αφρού στο μισό
- L: ο χρόνος κατά τον οποίο εξαλείφθηκε ο αφρός
- 1 min: ύψος αφρού σε 1 λεπτό
- 1,5 min: ύψος αφρού σε 1,5 λεπτό
- 2 min: ύψος αφρού σε 2 λεπτά
- 3 min: ύψος αφρού σε 3 λεπτά
- 4 min: ύψος αφρού σε 4 λεπτά
- 5 min: ύψος αφρού σε 5 λεπτά

ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΜΕΡΟΥΣ



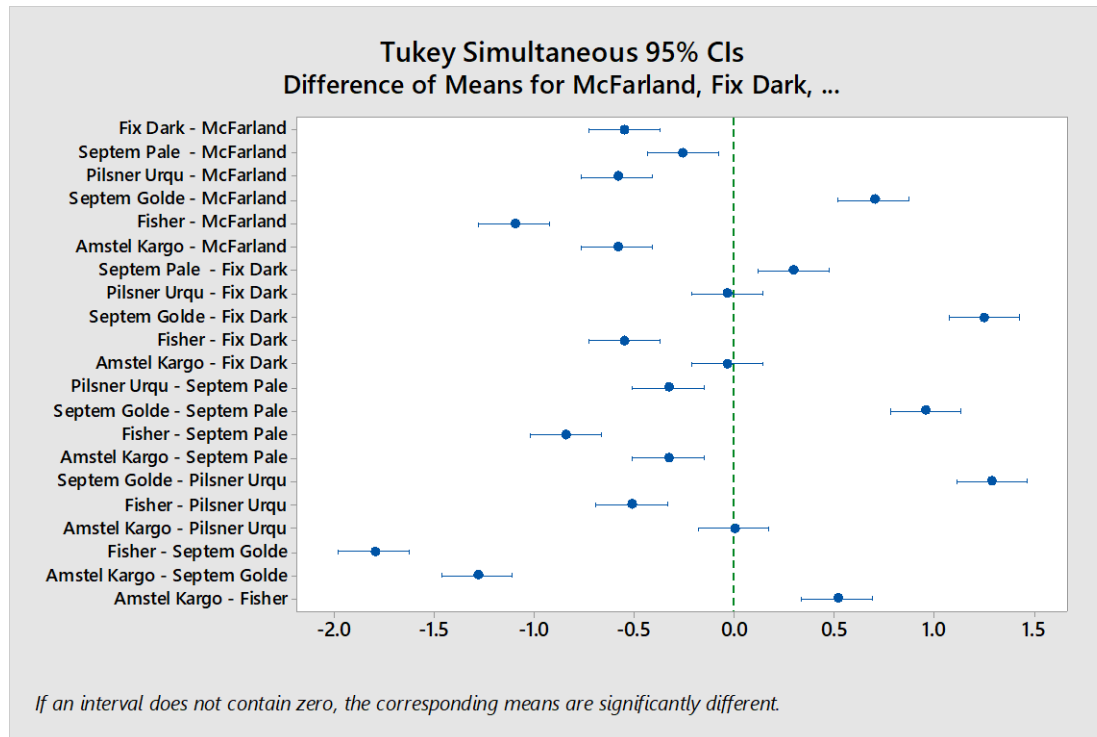
6.4 Στατιστική Ανάλυση Αποτελεσμάτων - Γραφικές Παραστάσεις και Σχολιασμός

1. F(cm)



Το F (cm) είναι το αρχικό συνολικό ύψος του αφρού της εκάστοτε μπίρας, την χρονική στιγμή 0 (ρίψη πλήρους περιεχομένου φιάλης). Όπως παρατηρείται από το παραπάνω γράφημα οι τελείες απεικονίζουν την μέση τιμή από τις δειγματοληψίες που πάρθηκαν, καθώς επίσης και την τοποθέτησή τους ως προς τα όρια εμπιστοσύνης μέσης τιμής. Όσες τιμές εμπεριέχονται εντός αυτών των ορίων, θεωρούνται πως δεν έ-

χουν διαφορά μεταξύ τους. Είναι φανερό πως οι Fix Dark, Amstel Kargo και Pilsner Urquell βρίσκονται αρκετά κοντά, ως προς την μέση τιμή τους για το αρχικό ύψος αφρού. Υποθέσαμε πως ένας λόγος για τις τόσο κοντινές τους τιμές, θα μπορούσε να είναι η βύνη κριθαριού, όντας κοινό στοιχείο αυτών των μπιρών. Σε αντίθεση με αυτές, οι υπόλοιπες φαίνεται να διαφέρουν.



Ο παραπάνω πίνακας συγκρίνει ζευγάρια μπιρών (ως προς τις τιμές τους για το Fcm). Η διακεκομμένη κάθετη γραμμή τέμνει το μηδέν. Συνεπώς τα ζευγάρια που η διαφορά τους βρίσκεται κοντά σε αυτήν την ευθεία (κοντά στο 0), δεν διαφέρουν μεταξύ τους. Τα όμοια ζευγάρια είναι και εδώ είναι αυτά των Fix Dark με την Pilsner Urquell, Fix Dark με Amstel Kargo καθώς επίσης και Amstel Kargo με την Pilsner Urquell. Οι λόγοι αναφέρθηκαν από πάνω.

One-way ANOVA: McFarland, Fix Dark, Septem Pale Ale, Pilsner Urquell Septem Golden Ale

Amstel Kargo, Fisher Method

Null hypothesis All means are equal

Alternative hypothesis Not all means are equal

Significance level $\alpha = 0.05$

Equal variances were assumed for the analysis.

Εδώ το **Null hypothesis** είναι η μη ύπαρξη διαφοράς μεταξύ των μέσων τιμών, ενώ το **α** συμβολίζει την πιθανότητα σφάλματος. (Το ίδιο ισχύει και για όλους τους κάτωθι πίνακες που φέρουν τον ίδιο τίτλο και ορολογία).

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	7	McFarland, Fix Dark, Septem Pale Ale, Pilsner Urquell, Septem Golden Ale, Fisher, Amstel Kargo

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	6	5.82183	99.04%	5.82183	0.970305	240.57	0.000
Error	14	0.05647	0.96%	0.05647	0.004033		
Total	20	5.87830	100.00%				

Άξιο προσοχής στον πίνακα Analysis of Variance, είναι η τιμή που παίρνει το P-Value, το οποίο όταν είναι μεγαλύτερο του 0.05 μας πληροφορεί πως δεν υπάρχει διαφορά μεταξύ των δειγμάτων.

Αντίστοιχα το F-Value συμβολίζει το κριτήριο απόφασης.

(Το ίδιο ισχύει και για όλους τους κάτωθι πίνακες που φέρουν τον ίδιο τίτλο και ορολογία).

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
0.0635085	99.04%	98.63%	0.12705	97.84%

Εδώ συνίσταται οι τιμές του R να είναι μεγαλύτερες των 90%. (Το ίδιο ισχύει και για όλους τους κάτωθι πίνακες που φέρουν τον ίδιο τίτλο και ορολογία).

Means

Factor	N	Mean	StDev	95% CI
McFarland	3	6.270	0.000	(6.191, 6.349)
Fix Dark	3	5.720	0.000	(5.641, 5.799)
Septem Pale Ale	3	6.0133	0.0635	(5.9347, 6.0920)
Pilsner Urquell	3	5.6833	0.0635	(5.6047, 5.7620)
Septem Golden Ale	3	6.9667	0.1270	(6.8880, 7.0453)
Fisher	3	5.170	0.000	(5.091, 5.249)
Amstel Kargo	3	5.6833	0.0635	(5.6047, 5.7620)

Pooled StDev = 0.0635085

Το 95% CI εκπροσωπεί τα όρια εμπιστοσύνης.

(Το ίδιο ισχύει και για όλους τους κάτωθι πίνακες που φέρουν τον ίδιο τίτλο και ορολογία).

Tukey Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
Septem Golden Ale	3	6.9667	A
McFarland	3	6.270	B

Septem Pale Ale	3	6.0133	C
Fix Dark	3	5.720	D
Amstel Kargo	3	5.6833	D
Pilsner Urquell	3	5.6833	D
Fisher	3	5.170	E

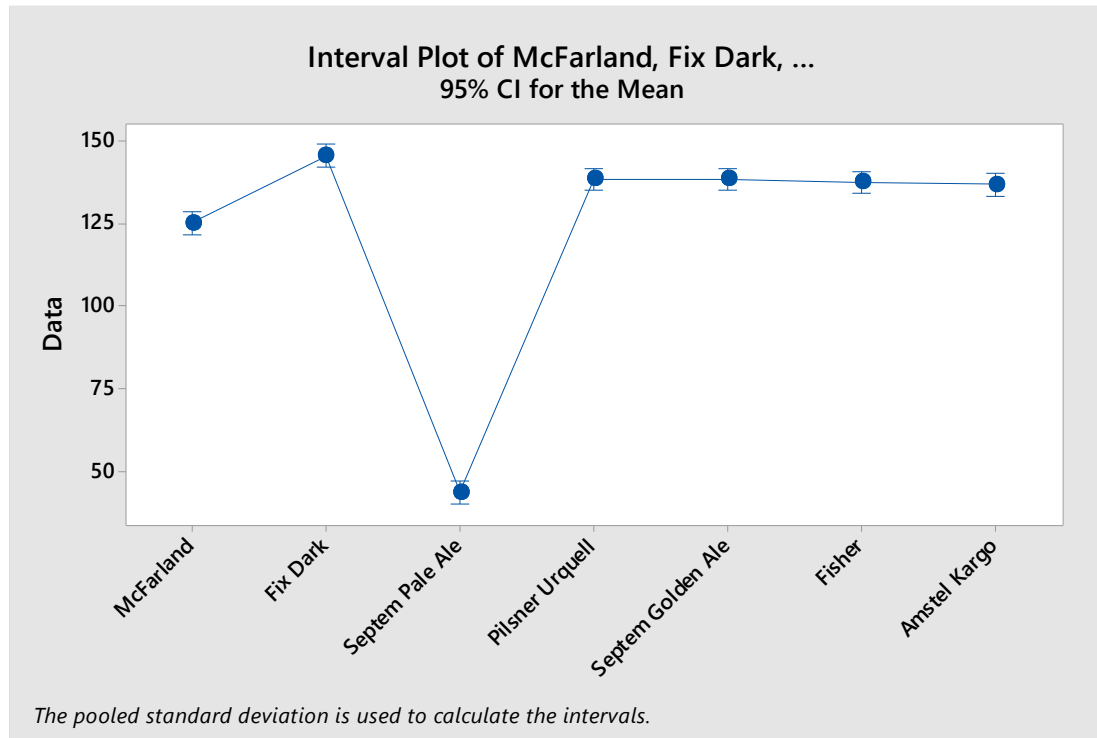
Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey Simultaneous 95% CIs

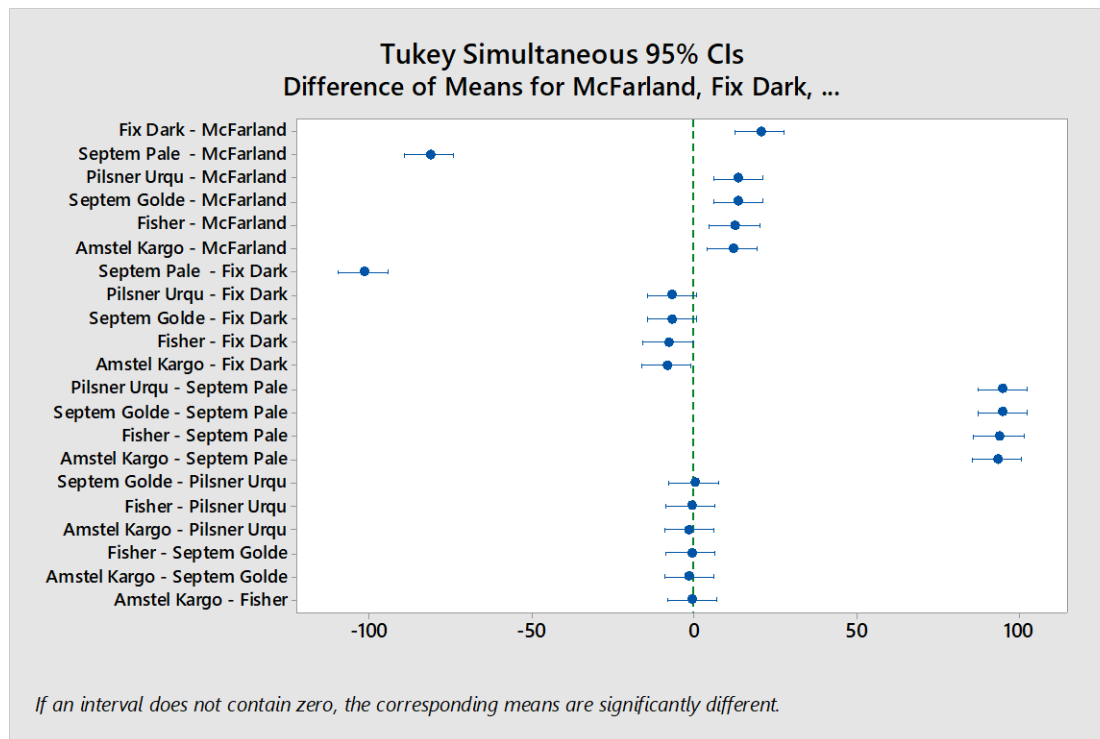
Interval Plot of McFarland, Fix Dark, ...

Όπως παρατηρείται από τον πίνακα της κατηγοριοποίησης των μπιρών (με A,B,C,D και E), οι Fix Dark, Amstel Kargo και Pilsner Urquell δεν διαφέρουν μεταξύ τους. Η Septem Golden Ale βρίσκεται στην υψηλότερη θέση με τον συμβολισμό A. Μια υπόθεση μας για τον παράγοντα που της έδωσε την θέση αυτή, ήταν πως ευθύνεται ο συνδυασμός των βυνών που συντέλεσαν για την παραγωγή της (Crystal, Pale Ale και Pilsner). Τέλος το χαμηλότερο αρχικό ύψος του αφρού ήταν της Fisher.

2. F/2 t



Η F/2 t είναι η διάρκεια (σε second) της ημιζωής του αφρού της κάθε μπίρας, το χρονικό δηλαδή σημείο στο οποίο το αρχικό ύψος του αφρού έφτασε στο μισό του ύψος. Εντυπωσιακή είναι η πτώση που παρουσιάζει στην γραφική παράσταση η μέση τιμή της Septem Pale Ale, σε σχέση με τις υπόλοιπες μπίρες, προσδίδοντας έτσι μια πολύ «σύντομη» ημιζωή στον αφρό της. Η απάντηση σε αυτήν την παρατήρηση, θα μπορούσε να βρίσκεται στο γεγονός πως είναι μια μη παστεριωμένη μπίρα και αποτέλεσμα αυτού είναι να περιέχει ένζυμα που είναι υπεύθυνα για την διάλυση των πρωτεϊνών. Η Fix Dark ξεχωρίζει ως η μπίρα με την υψηλότερη μέση τιμή. Η εικασία μας για αυτήν την θέση στο γράφημα, είναι πως έπαιξαν καθοριστικό ρόλο οι Μελανοϊδίνες που εμπεριέχονται στις dark βύνες και ως γνωστόν δρουν θετικά στην σταθερότητα του αφρού.



Στον πίνακα φαίνεται η μικρή απόκλιση (πλησίον ή και πάνω στον άξονα του μηδενός) που έχουν τα ζευγάρια για τις μπίρες που προαναφέρθηκαν πως έχουν σχεδόν συννευθιακές μέσες τιμές στο γράφημα. Μεγάλες διαφορές παρατηρούνται, όπως είναι λογικό, μεταξύ των ζευγαριών που συμμετέχει η Septem Pale Ale.

One-way ANOVA: McFarland, Fix Dark, Septem Pale Ale, Pilsner Urquell Septem Golden Ale Amstel Kargo, Fisher

Method

Null hypothesis All means are equal

Alternative hypothesis Not all means are equal

Significance level $\alpha = 0.05$
Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	7	McFarland, Fix Dark, Septem Pale Ale, Pilsner Urquell, Septem Golden Ale, Fisher, Amstel Kargo

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	6	22971.2	99.55%	22971.2	3828.54	515.38	0.000
Error	14	104.0	0.45%	104.0	7.43		
Total	20	23075.2	100.00%				

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
2.72554	99.55%	99.36%	234	98.99%

Means

Factor	N	Mean	StDev	95% CI
McFarland	3	125.00	1.73	(121.62, 128.38)
Fix Dark	3	145.333	1.528	(141.958, 148.708)
Septem Pale Ale	3	43.67	5.51	(40.29, 47.04)
Pilsner Urquell	3	138.33	2.08	(134.96, 141.71)
Septem Golden Ale	3	138.333	1.528	(134.958, 141.708)
Fisher	3	137.333	1.155	(133.958, 140.708)
Amstel Kargo	3	136.67	2.89	(133.29, 140.04)

Pooled StDev = 2.72554

Tukey Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
Fix Dark	3	145.333	A
Septem Golden Ale	3	138.333	A B
Pilsner Urquell	3	138.33	A B
Fisher	3	137.333	B
Amstel Kargo	3	136.67	B
McFarland	3	125.00	C
Septem Pale Ale	3	43.67	D

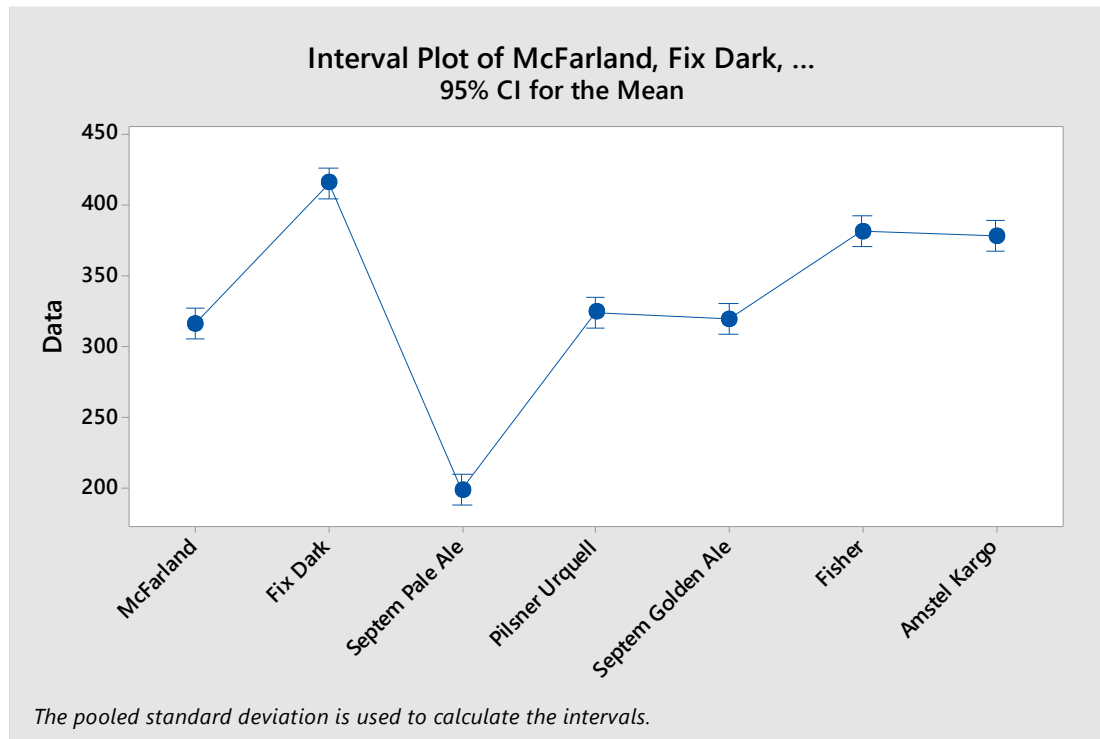
Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey Simultaneous 95% CIs

Interval Plot of McFarland, Fix Dark, ...

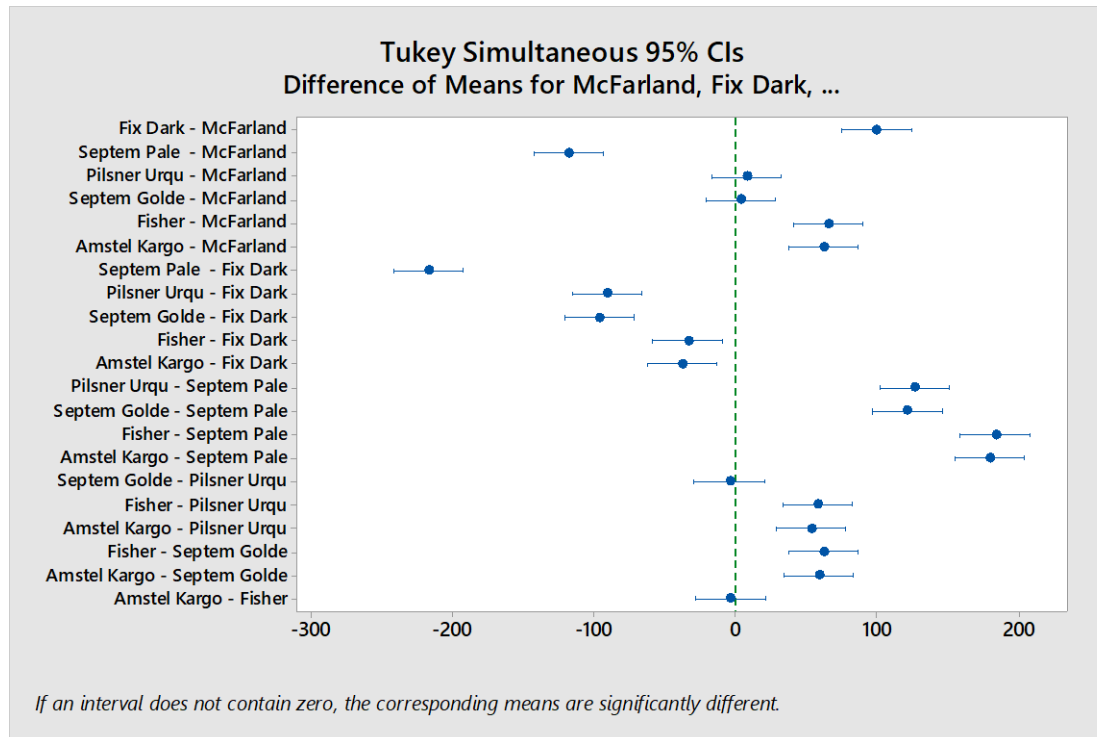
Με μια ματιά και από το γράφημα είναι εύκολα διακριτό πως η Pilsner Urquell, η Septem Golden Ale, η Fisher και η Amstel Kargo βρίσκονται σχεδόν στην ίδια ευθεία. Αυτό αποτυπώνεται και στο γεγονός πως κατατάχτηκαν στην ίδια θέση με το γράμμα B. Ωστόσο από αυτές τις 4, οι Pilsner Urquell και Septem Golden Ale δεν διαφέρουν και πολύ από την μέση τιμή της Fix Dark, όπως άλλωστε τιτλοφορούνται με το γράμμα A στον παραπάνω πίνακα. Η Fix Dark ξεχωρίζει ως η μπίρα με την υψηλότερη μέση τιμή, όπως επίσης και η Septem Pale Ale ως χαμηλότερη.

3. Lt (sec)



Το Lt είναι η χρονική στιγμή που σηματοδοτεί το τέλος της ζωής του αφρού, το σημείο δηλαδή που η επιφάνεια του αφρού υποχώρησε και έγινε πλέον εμφανές η επιφάνεια του υγρού στοιχείου της μπίρας. Αναλογικά με το διάγραμμα του F/2 t, θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν «πιστές» στην πορεία τους (χρονικά), οι Fix Dark, Septem Pale Ale και ίσως οι Fisher και Amstel Kargo. Οι Pilsner Urquell και Septem Golden Ale είναι πλέον συνευθειακές με την McFarland. Οπτικά κατά την διάρκεια του πειράματος, ο αφρός της McFarland είχε μια κρεμώδη υφή και

χαρακτηρίστηκε ως μη ανθεκτικός. Η πτώση της Septem Golden Ale μπορεί να οφείλεται στην μη παστερίωση της μπίρας (διάλυση πρωτεϊνών λόγω ύπαρξης ενζύμων) ή και στην ύπαρξη μελιού (ως επιπλέον σάκχαρα). Για την μετάβαση της μέσης τιμής (σε χαμηλότερα επίπεδα) της Pilsner Urquell ίσως να ευθύνονται οι βύνες κριθαριού και η πολυμορφικότητα του αφρού της.



Η σύγκριση των μέσων τιμών (ανά ζευγάρια) των οποίων τα όρια εμπιστοσύνης τέμνουν τον κάθετο άξονα του μηδενός, αφορούν τις μπίρα Mc-Farland σε συνδυασμό με την Pilsner Urquell και Septem Golden Ale, καθώς επίσης και τα ζεύγη Septem Golden Ale - Pilsner Urquell και Amstel Kargo – Fisher.

One-way ANOVA: McFarland, Fix Dark, Septem Pale Ale, Pilsner Urquell Septem Golden Ale Amstel Kargo, Fisher

Method

Null hypothesis All means are equal

Alternative hypothesis Not all means are equal

Significance level $\alpha = 0.05$

Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	7	McFarland, Fix Dark, Septem Pale Ale, Pilsner Urquell, Septem Golden Ale, Fisher, Amstel Kargo

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	6	89405	98.80%	89405	14900.9	192.57	0.000
Error	14	1083	1.20%	1083	77.4		
Total	20	90489	100.00%				

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
8.79664	98.80%	98.29%	2437.5	97.31%

Means

Factor	N	Mean	StDev	95% CI
McFarland	3	316.00	3.61	(305.11, 326.89)
Fix Dark	3	415.33	4.93	(404.44, 426.23)
Septem Pale Ale	3	198.3	19.4	(187.4, 209.2)
Pilsner Urquell	3	324.00	10.44	(313.11, 334.89)

Septem Golden Ale	3	319.33	2.52	(308.44, 330.23)
Fisher	3	381.333	1.528	(370.441, 392.226)
Amstel Kargo	3	377.67	3.21	(366.77, 388.56)

Pooled StDev = 8.79664

Tukey Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
Fix Dark	3	415.33	A
Fisher	3	381.333	B
Amstel Kargo	3	377.67	B
Pilsner Urquell	3	324.00	C
Septem Golden Ale	3	319.33	C
McFarland	3	316.00	C
Septem Pale Ale	3	198.3	D

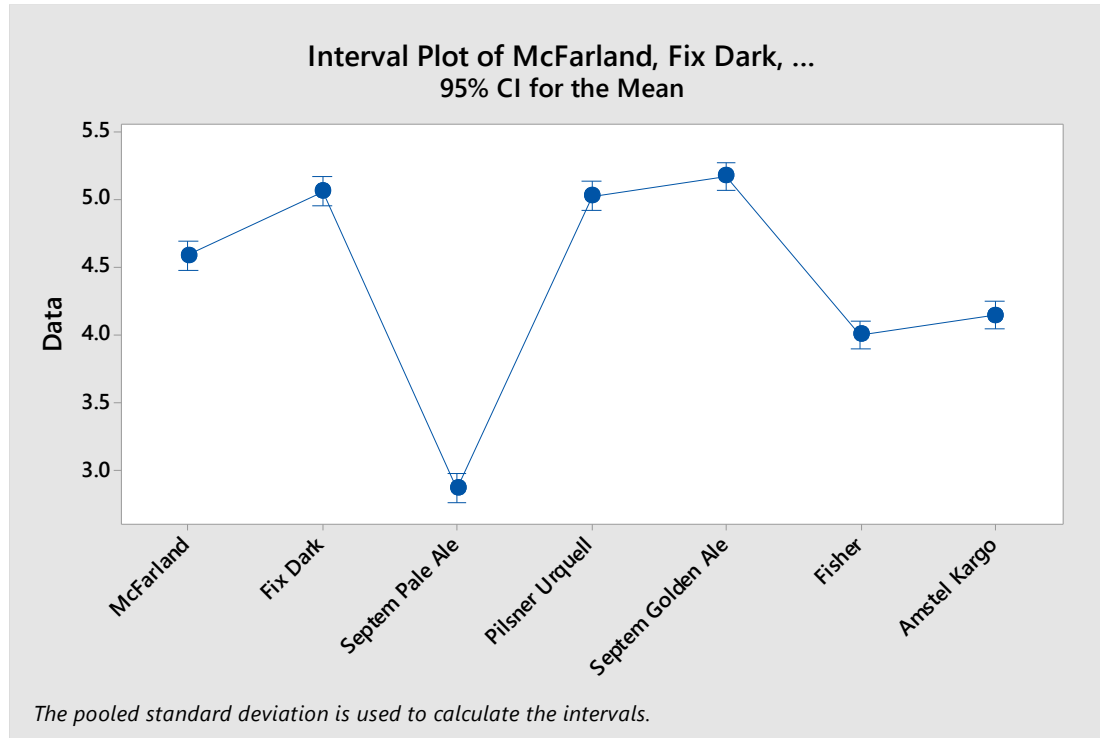
Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey Simultaneous 95% CIs

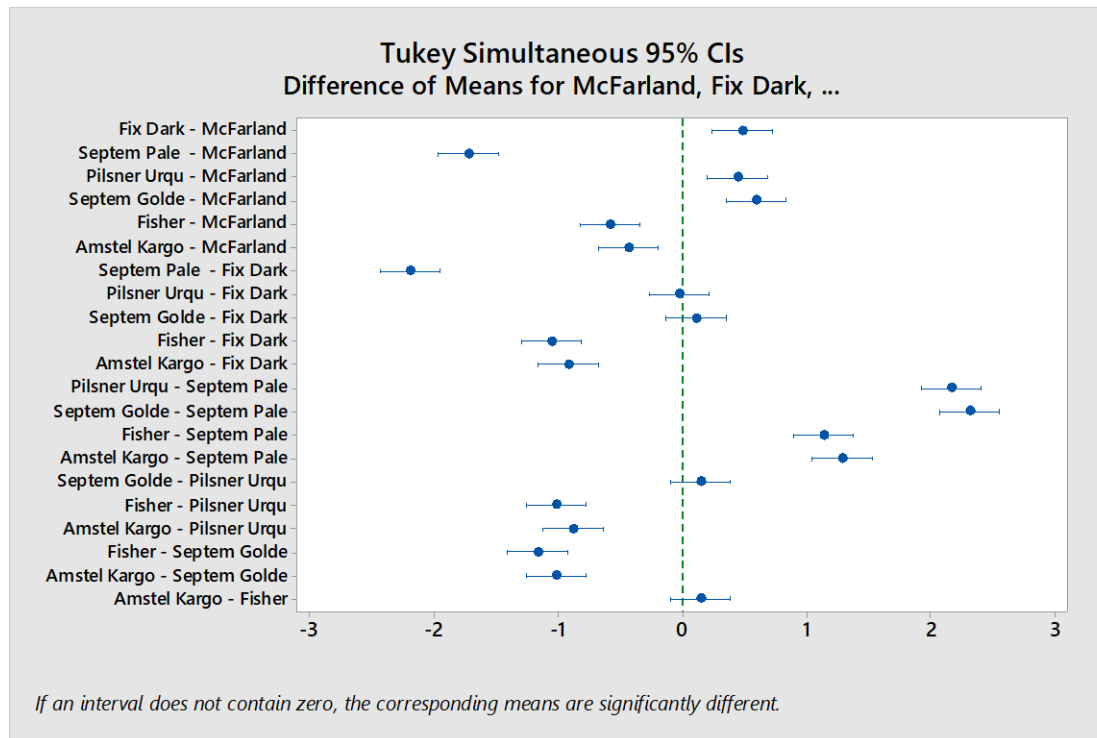
Interval Plot of McFarland, Fix Dark, ...

Συμβολικά η Fix Dark διαφέρει και υπερτερεί σε σχέση με τις υπόλοιπες (εξαιτίας των μελανοϊδίων) ενώ Fisher και Amstel Kargo κατατάχθηκαν στην ίδια ομάδα (B). Η παραμονή στις υψηλές θέσεις της Amstel Kargo εικάζουμε ότι οφείλεται στο φαινόμενο dry hopping. Πιο συγκεκριμένα κατά το φαινόμενο αυτό προστίθενται λυκίσκοι στην μπίρα που είναι σε ζύμωση, με σκοπό την ενίσχυση του αρωματικού της δυναμικού. Αν και συνήθως το dry hopping είναι υπεύθυνο για την αύξηση του pH (ανάλογα την θερμοκρασία και τον λυκίσκο) και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της σταθερότητας του αφρού, η χαμηλή θερμοκρασία σε συνδυασμό με την προσθήκη άλφα-οξέων συμβάλλουν στην βελτίωση της σταθερότητας του.

4. Ύψος αφρού σε cm στο 1 min



Παρατηρείται ότι η Septem Golden Ale έχει διατηρήσει την θέση της ως η μπίρα με το μεγαλύτερο ύψος αφρού σε διάρκεια 1 min (όπως και στο αρχικό ύψος F cm). Την μεγαλύτερη πτώση την είχε ο αφρός της Septem Pale Ale. Η μη παστερίωση της (διάλυση πρωτεϊνών λόγω ενζύμων) ίσως ευθύνεται για την τιμή αυτή. Η McFarland αναλογικά και γραφικά έχει διατηρήσει την θέση της με την διαφορά, πως από τη δεύτερη υψηλότερη θέση μετέβη στην τέταρτη. Η μη ανθεκτικότητα του αφρού παρατηρήθηκε και οπτικά, καθώς εμπεριείχε πιο «εύθραυστες φυσαλίδες». Την δεύτερη και τρίτη θέση πήραν οι Pilsner Urquell και Fix Dark (εξαιτίας των σκουρόχρωμων βυνών).



Εδώ παρατηρείται, όπως και σε προηγούμενες πίνακες (95% CI), ότι οι μέσες τιμές που βρίσκονταν κοντά στην από πάνω γραφική παράσταση είναι και πάνω στο μηδέν (π.χ. Amstel Kargo και Fisher). Αντίστοιχα τα ζευγάρια που είχαν μεγάλες αποκλίσεις, απείχαν κατά αναλογική απόσταση από το μηδέν. Σε σχέση με τον αντίστοιχο πίνακα του Fcm που υπήρχαν τρία ζευγάρια, εδώ τέσσερα ζευγάρια τέμνουν (με τα όρια εμπιστοσύνης τους) τον άξονα του μηδενός.

One-way ANOVA: McFarland, Fix Dark, Septem Pale Ale, Pilsner Urquell Septem Golden Ale Amstel Kargo, Fisher Method

Null hypothesis All means are equal
 Alternative hypothesis Not all means are equal
 Significance level $\alpha = 0.05$
Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	7	McFarland, Fix Dark, Septem Pale Ale, Pilsner Urquell, Septem Golden Ale, Fisher, Amstel Kargo

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	6	12.1519	99.14%	12.1519	2.02531	270.38	0.000
Error	14	0.1049	0.86%	0.1049	0.00749		
Total	20	12.2567	100.00%				

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
0.0865475	99.14%	98.78%	0.23595	98.07%

Means

Factor	N	Mean	StDev	95% CI
McFarland	3	4.5833	0.0635	(4.4762, 4.6905)
Fix Dark	3	5.0600	0.1100	(4.9528, 5.1672)
Septem Pale Ale	3	2.8600	0.1100	(2.7528, 2.9672)
Pilsner Urquell	3	5.0233	0.0635	(4.9162, 5.1305)
Septem Golden Ale	3	5.1700	0.1100	(5.0628, 5.2772)

Fisher 3 3.9967 0.0635 (3.8895, 4.1038)

Amstel Kargo 3 4.1433 0.0635 (4.0362, 4.2505)

Pooled StDev = 0.0865475

Tukey Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
Septem Golden Ale	3	5.1700	A
Fix Dark	3	5.0600	A
Pilsner Urquell	3	5.0233	A
McFarland	3	4.5833	B
Amstel Kargo	3	4.1433	C
Fisher	3	3.9967	C
Septem Pale Ale	3	2.8600	D

Means that do not share a letter are significantly different.

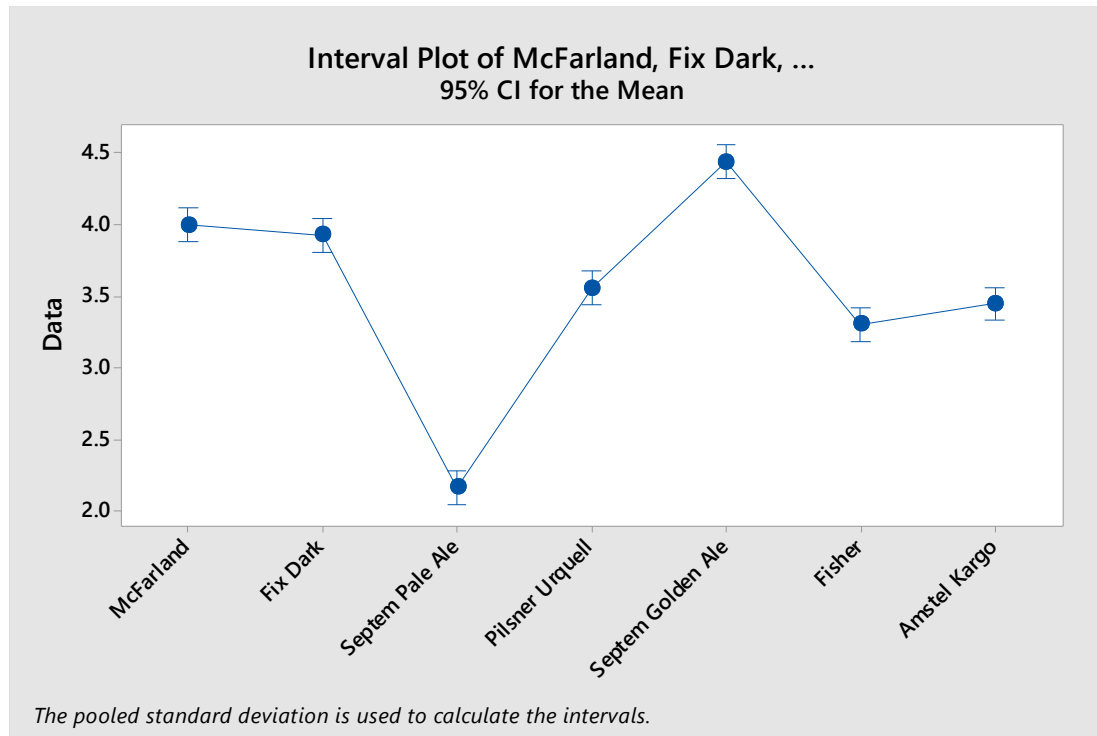
Tukey Simultaneous 95% CIs

Interval Plot of McFarland, Fix Dark, ...

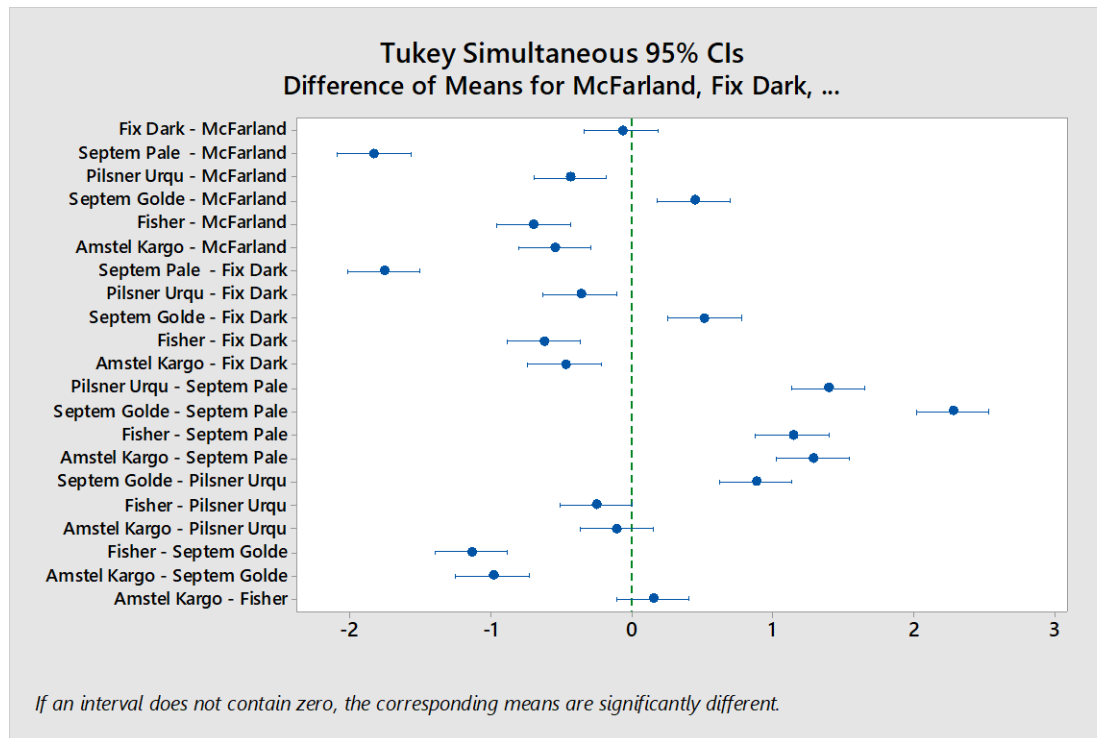
Σε σύγκριση με την κατηγοριοποίηση του αρχικού ύψους αφρού, εδώ υπάρχουν λιγότεροι συμβολισμοί (στο Fcm ήταν A,B,C,D και E).

Θεωρητικά θα μπορούσε να χωριστεί στις θέσεις A στην B, C και D. Η διαφορά της MacFarland (σε σχέση με τις Fisher και Kargo που μαζί καταλαμβάνουν στατιστικά τις μεσαίες θέσεις) έγκειται στην πληροφορία ότι δεν συντέθηκε μόνο από βύνες κριθαριού (όπως Fisher, Kargo) αλλά και από βύνες καραμέλας και σοκολάτας, εκ των οποίων η βύνη καραμέλας ανήκει στις Crystal βύνες (ενισχυτική δράση στον αφρό) και η βύνη σοκολάτας στις σκουρόχρωμες (μελανοϊδίνες).

5. Ύψος αφρού σε cm στο 1,5 min



Αναφορικά και σε σύγκριση με την γραφική στο ύψος αφρού στο 1 min, οι Septem Golden Ale, Septem Pale Ale, Fisher και Amstel Kargo είχαν μια ομαλή και αναλογική πτώση. Είναι φανερό και από αυτό το διάγραμμα πως έχουν διατηρήσει τις θέσεις τους σε σχέση με την γραμμή που ενώνει τις μέσες τιμές. Διαφορά παρατηρείται τόσο στην McFarland, όσο και στις Fix Dark και Pilsner Urquell. Πιο συγκεκριμένα η McFarland ανέβηκε στην δεύτερη θέση, ενώ στην τρίτη έπεσε Fix Dark και τέλος η Pilsner Urquell εντοπίζεται στην τέταρτη θέση. Αυτή η ανακατάταξη θα μπορούσε να δικαιολογηθεί τόσο από τις Crystal βύνες της McFarland (που έδρασαν θετικά στην διατηρησιμότητα του αφρού της) όσο και στις βύνες σοκολάτας. Επίσης πιθανός παράγοντας για την μεγάλη πτώση της Urquell είναι οι βύνες κριθαριού που την αποτελούν (βύνες κριθαριού = μικρότερη συνεισφορά στην σταθερότητα του αφρού σε σχέση με τις βύνες των μπιρών που βρίσκονται σε υψηλότερες θέσεις).



Από τον πίνακα του 95% CIs είναι διακριτή η διαφορά στα ζευγάρια που τα όρια εμπιστοσύνης τους τέμνουν την διακεκομμένη γραμμή του 0 αν και ο αριθμός είναι ίδιος (4). Εδώ τα ζευγάρια αυτά που δεν διαφέρουν πολύ στις μέσες τιμές τους είναι τα Fix Dark – McFarland, Fisher – Pilsner Urquell, Amstel Kargo – Pilsner Urquell και Amstel Kargo – Fisher.

One-way ANOVA: McFarland, Fix Dark, Septem Pale Ale, Pilsner Urquell Septem Golden Ale Amstel Kargo, Fisher

Method

Null hypothesis All means are equal

Alternative hypothesis Not all means are equal

Significance level $\alpha = 0.05$
Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	7	McFarland, Fix Dark, Septem Pale Ale, Pilsner Urquell, Septem Golden Ale, Fisher, Amstel Kargo

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	6	9.3631	98.72%	9.3631	1.56052	180.56	0.000
Error	14	0.1210	1.28%	0.1210	0.00864		
Total	20	9.4841	100.00%				

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
0.0929670	98.72%	98.18%	0.27225	97.13%

Means

Factor	N	Mean	StDev	95% CI
McFarland	3	3.9967	0.0635	(3.8815, 4.1118)
Fix Dark	3	3.9233	0.0635	(3.8082, 4.0385)
Septem Pale Ale	3	2.1633	0.0635	(2.0482, 2.2785)
Pilsner Urquell	3	3.5567	0.0635	(3.4415, 3.6718)
Septem Golden Ale	3	4.4367	0.1270	(4.3215, 4.5518)
Fisher	3	3.3000	0.1100	(3.1849, 3.4151)
Amstel Kargo	3	3.4467	0.1270	(3.3315, 3.5618)

Pooled StDev = 0.0929670

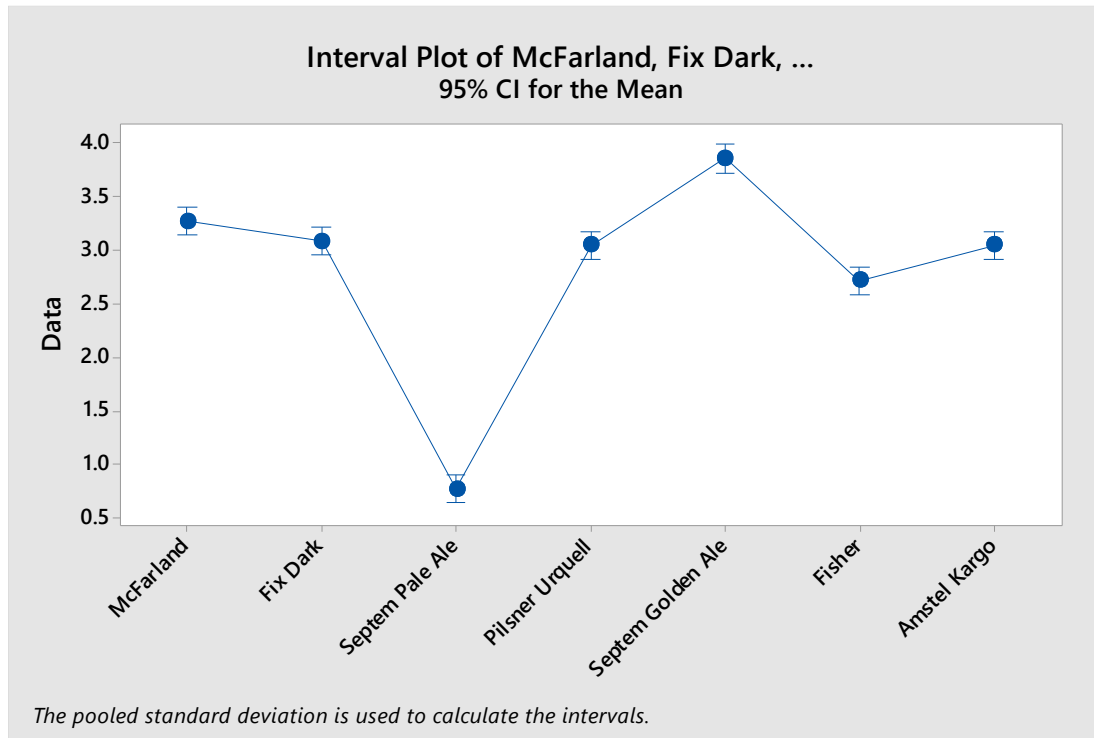
Tukey Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

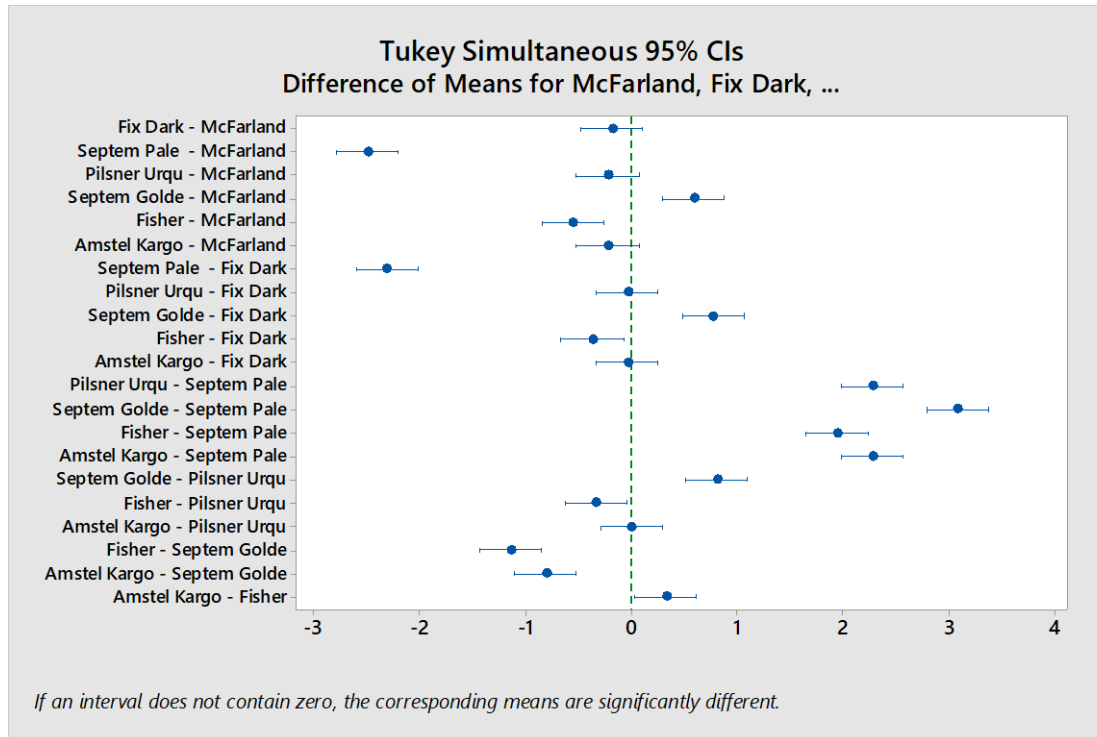
Factor	N	Mean	Grouping
Septem Golden Ale	3	4.4367	A
McFarland	3	3.9967	B
Fix Dark	3	3.9233	B
Pilsner Urquell	3	3.5567	C
Amstel Kargo	3	3.4467	C
Fisher	3	3.3000	C
Septem Pale Ale	3	2.1633	D

Σε αντίθεση με τον αντίστοιχο πίνακα στο 1 min, η Septem Golden Ale κατηγοριοποιήθηκε μόνη της στην A θέση, ενώ η McFarland και η Fix Dark στην B θέση. Η πτώση της Pilsner Urquell την κατέταξε στην ίδια κατηγορία με τις Amstel Kargo και Fisher, ενώ στην τελευταία θέση με το γράμμα D παρέμεινε η Septem Pale Ale. Οι λόγοι και οι αιτίες που οδήγησαν σε αυτές τις αλλαγές διαμόρφωσης της κατάταξης αναφέρθηκαν παραπάνω.

6. Ύψος αφρού σε cm στο 2 min



Το σχήμα είναι πανομοιότυπο από το 1.5 min στα 2 min. Παρατηρείται μια φυσική πτώση σε όλες τις ετικέτες. Γραφικά αν εξαιρέσουν την Septem Pale Ale και την Septem Golden Ale, οι υπόλοιπες ετικέτες έχουν σχεδόν ευθυγραμμιστεί.



Ως συνεπακόλουθο του παραπάνω σχεδιαγράμματος, διακρίνεται και εδώ η μείωση των διαφορών των μέσων τιμών ανά ζευγάρια των δειγμάτων μας. Σε σχέση με το 1.5 min τα όρια εμπιστοσύνης από έξι ζευγάρια έρχονται σε επαφή με τον διακεκομμένο άξονα. Τα ζευγάρια αυτά είναι τα : Fix Dark – McFarland, Pilsner Urquell – McFarland, Amstel Kargo – McFarland, Pilsner Urquell – Fix Dark, Amstel Kargo – Fix Dark και Amstel Kargo – Pilsner Urquell.

One-way ANOVA: McFarland, Fix Dark, Septem Pale Ale, Pilsner Urquell Septem Golden Ale Amstel Kargo, Fisher Method

Null hypothesis All means are equal

Alternative hypothesis Not all means are equal

Significance level $\alpha = 0.05$

Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	7	McFarland, Fix Dark, Septem Pale Ale, Pilsner Urquell, Septem Golden Ale, Fisher, Amstel Kargo

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	6	16.9158	99.10%	16.9158	2.81930	257.53	0.000
Error	14	0.1533	0.90%	0.1533	0.01095		
Total	20	17.0691	100.00%				

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
0.104631	99.10%	98.72%	0.34485	97.98%

Means

Factor	N	Mean	StDev	95% CI
McFarland	3	3.2633	0.1270	(3.1338, 3.3929)
Fix Dark	3	3.0800	0.1100	(2.9504, 3.2096)
Septem Pale Ale	3	0.7700	0.1100	(0.6404, 0.8996)
Pilsner Urquell	3	3.0433	0.0635	(2.9138, 3.1729)
Septem Golden Ale	3	3.8500	0.1100	(3.7204, 3.9796)
Fisher	3	2.7133	0.0635	(2.5838, 2.8429)

Amstel Kargo 3 3.0433 0.1270 (2.9138, 3.1729)

Pooled StDev = 0.104631

Tukey Pairwise Comparisons

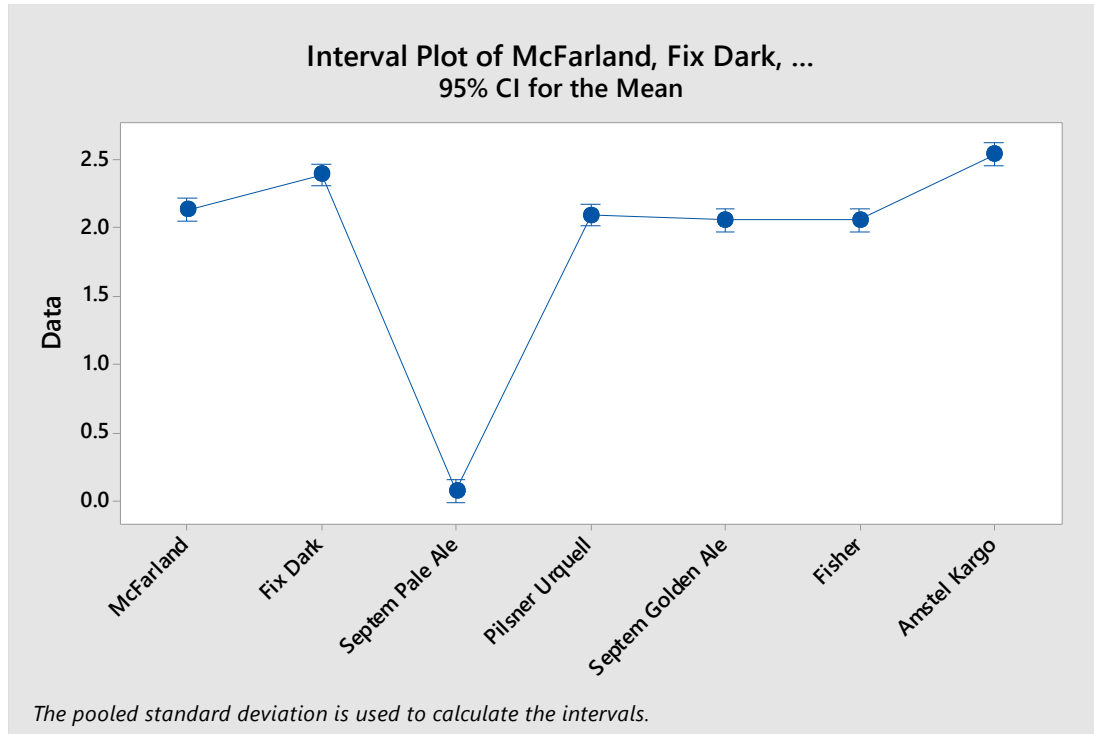
Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
Septem Golden Ale	3	3.8500	A
McFarland	3	3.2633	B
Fix Dark	3	3.0800	B
Amstel Kargo	3	3.0433	B
Pilsner Urquell	3	3.0433	B
Fisher	3	2.7133	C
Septem Pale Ale	3	0.7700	D

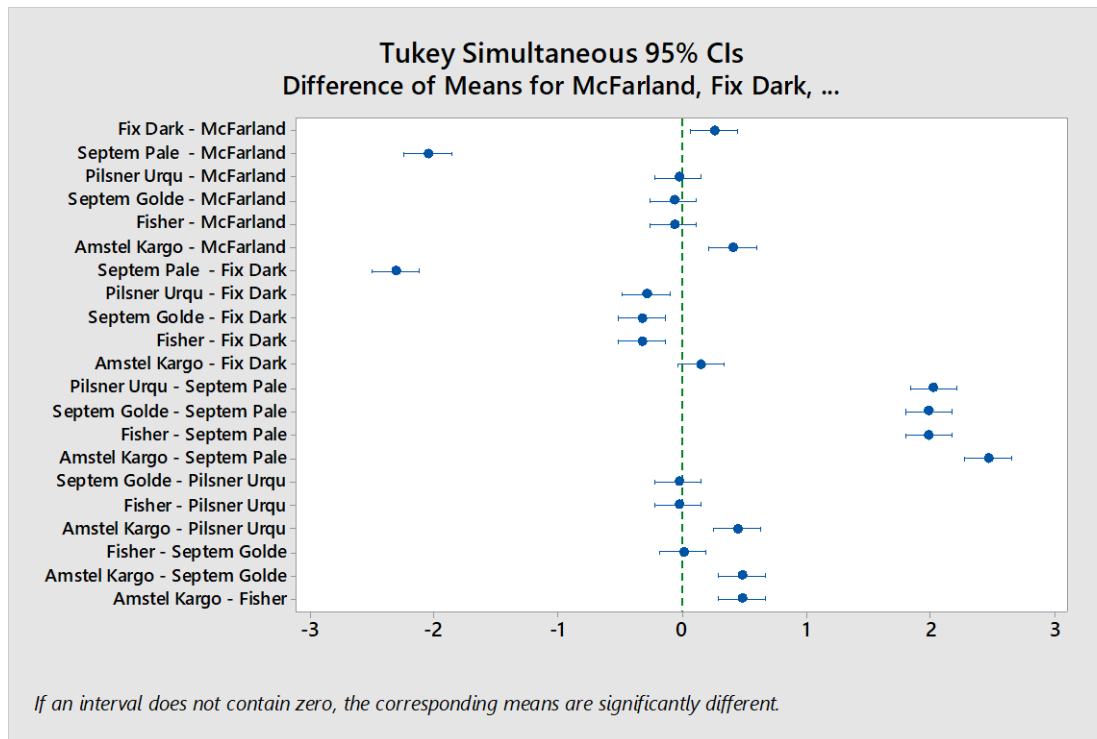
Means that do not share a letter are significantly different.

Ενώ και εδώ (σε σύγκριση με το 1.5 min) υπάρχουν 4 κατηγορίες, φαίνεται πως οι Pilsner Urquell και Amstel Kargo από ομάδα C έγιναν ομάδα B. Αξιοσημείωτη είναι η αλλαγή θέσης της Pilsner Urquell με την Amstel Kargo, όπου η μέση τιμή της Kargo, στατιστικά, «ξεπέρασε» την μέση τιμή της Urquell και ο λόγος για αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στο φαινόμενο του dry hopping.

7. Ύψος αφρού σε cm στο 3 min



Οι διαφορές που παρατηρούνται σχηματικά κατά την διάρκεια από τα 2 στα 3 min, παρατηρούνται στην αλλαγή θέσης της McFarland και Fix Dark, στην απότομη πτώση της Septem Golden Ale και στην σημαντική διατηρησιμότητα του αφρού της Amstel Kargo, που πλέον φαίνεται να κατέχει την υψηλότερη θέση.



Συγκριτικά με τα 2 min, διακρίνονται επτά ζευγάρια που δεν διαφέρουν πολύ μεταξύ τους. Χαρακτηριστική παρατήρηση είναι εδώ το γεγονός ότι η μέση τιμή από έξι εκ των 7 ζευγαριών σχεδόν διαπερνιούνται από τον άξονα του μηδενός. Αυτό υποδηλώνει πάρα πολύ μικρές διαφορές.

One-way ANOVA: McFarland, Fix Dark, Septem Pale Ale, Pilsner Urquell Septem Golden Ale Amstel Kargo, Fisher

Method

Null hypothesis All means are equal

Alternative hypothesis Not all means are equal

Significance level $\alpha = 0.05$
Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	7	McFarland, Fix Dark, Septem Pale Ale, Pilsner Urquell, Septem Golden Ale, Fisher, Amstel Kargo

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	6	12.3051	99.48%	12.3051	2.05085	444.92	0.000
Error	14	0.0645	0.52%	0.0645	0.00461		
Total	20	12.3697	100.00%				

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
0.0678935	99.48%	99.25%	0.1452	98.83%

Means

Factor	N	Mean	StDev	95% CI
McFarland	3	2.1267	0.0635	(2.0426, 2.2107)
Fix Dark	3	2.3833	0.0635	(2.2993, 2.4674)
Septem Pale Ale	3	0.0733	0.0635	(-0.0107, 0.1574)
Pilsner Urquell	3	2.090	0.000	(2.006, 2.174)
Septem Golden Ale	3	2.0533	0.0635	(1.9693, 2.1374)
Fisher	3	2.0533	0.0635	(1.9693, 2.1374)
Amstel Kargo	3	2.5300	0.1100	(2.4459, 2.6141)

Pooled StDev = 0.0678935

Tukey Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
Amstel Kargo	3	2.5300	A
Fix Dark	3	2.3833	A
McFarland	3	2.1267	B
Pilsner Urquell	3	2.090	B
Fisher	3	2.0533	B
Septem Golden Ale	3	2.0533	B
Septem Pale Ale	3	0.0733	C

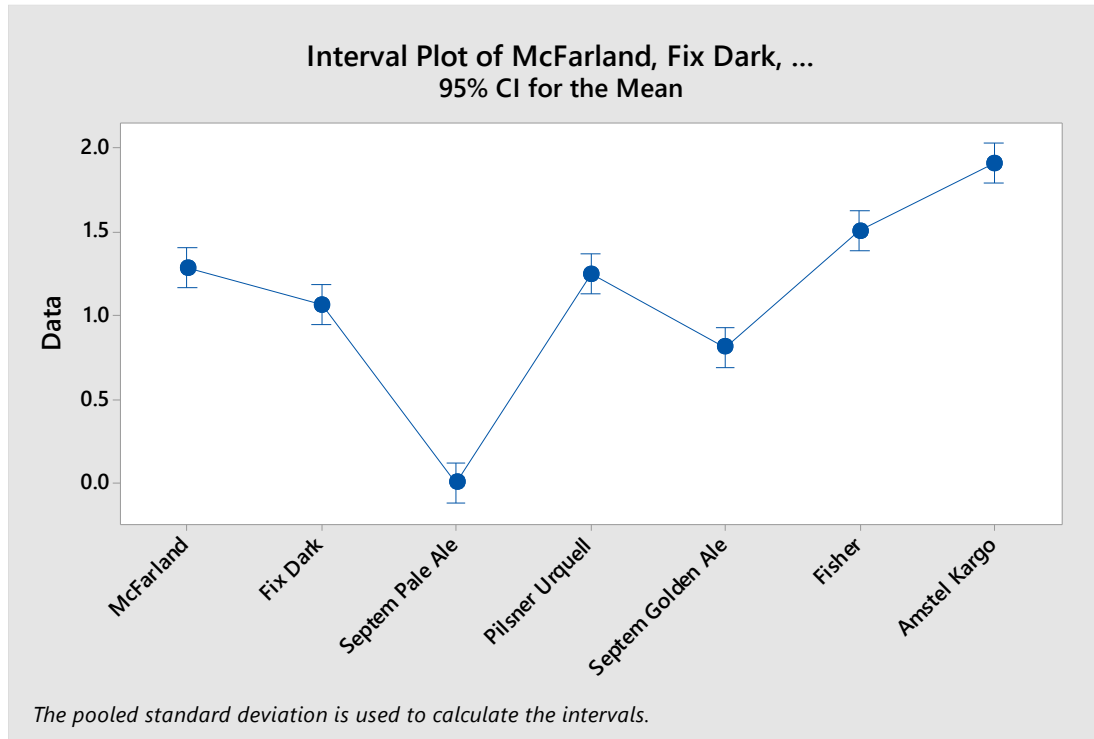
Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey Simultaneous 95% CIs

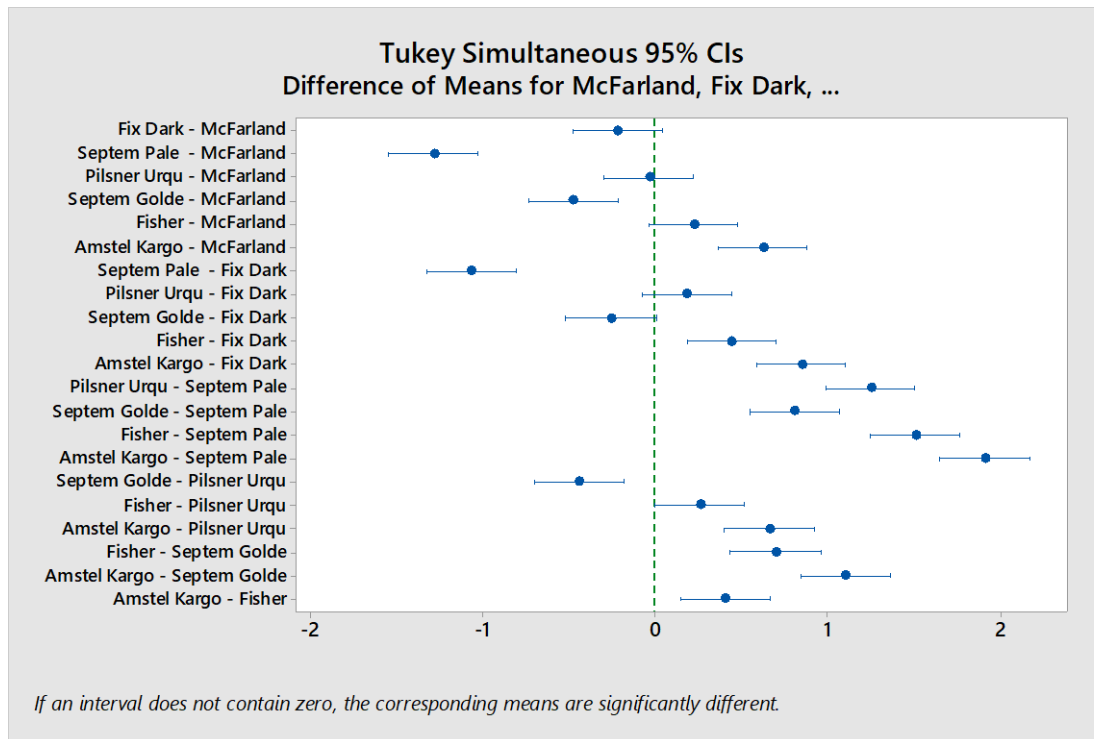
Interval Plot of McFarland, Fix Dark, ...

Πλέον υφίστανται 3 ομάδες. Η απότομη πτώση της Septem Golden Ale που είχε διαπιστωθεί και από το σχεδιάγραμμα, στατιστικά πλέον αποτυπώνεται ως δεύτερη χαμηλότερη μέση τιμή. Η μείωση αυτή θεωρητικά θα μπορούσε να οφείλεται στον πολύ υψηλό αλκοολικό της τίτλο (6.5%, γνωρίζοντας πως >2% vol δρα αρνητικά στην σταθερότητα του αφρού), στην μη παστερίωσή της (διάλυση πρωτεϊνών εξαιτίας της ύπαρξης ενζύμων) και τέλος στην ύπαρξη μελιού (πρόσθετα σάκχαρα), καθώς υπάρχουν λιγότερες διαθέσιμες πρωτεΐνες για την παραγωγή του αφρού. Η θέση της Kargo μπορεί να αποδοθεί στο ότι είναι αφιλτράριστη παρέχοντας έτσι περισσότερες ευκαιρίες για το αέριο να φουσκώσει και να αναδυθεί μέσα από το υγρό, δημιουργώντας έτσι περισσότερες ευκαιρίες δημιουργίας αφρού (περισσότερες θέσεις πυρήνωσης).

8. Ύψος αφρού σε cm στο 4 min



Η Amstel Kargo διατήρησε την θέση της, σε αντίθεση με την Fix Dark η οποία σημείωσε μεγάλη μείωση. Την θεαματική της πτώση συνέχισε η Septem Golden Ale για τους λόγους που προαναφέρθηκαν. Ακόμα μια αλλαγή που παρατηρείται είναι η πτώση της McFarland σε σχέση με τις Fisher Pilsner και Pilsner Urquell.



Έξι ζευγάρια ετικετών πλησιάζουν το μηδέν σε αυτό το γράφημα, σε σχέση με τα επτά του προηγούμενου.

One-way ANOVA: McFarland, Fix Dark, Septem Pale Ale, Pilsner Urquell Septem Golden Ale Amstel Kargo, Fisher Method

Null hypothesis All means are equal

Alternative hypothesis Not all means are equal

Significance level $\alpha = 0.05$

Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	7	McFarland, Fix Dark, Septem Pale Ale, Pilsner Urquell, Septem Golden Ale, Fisher, Amstel Kargo

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	6	6.4925	98.17%	6.4925	1.08209	125.20	0.000
Error	14	0.1210	1.83%	0.1210	0.00864		
Total	20	6.6135	100.00%				

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
0.0929670	98.17%	97.39%	0.27225	95.88%

Means

Factor	N	Mean	StDev	95% CI
McFarland	3	1.2833	0.0635	(1.1682, 1.3985)
Fix Dark	3	1.0633	0.1680	(0.9482, 1.1785)
Septem Pale Ale	3	0.000000	0.000000	(-0.115120, 0.115120)
Pilsner Urquell	3	1.2467	0.0635	(1.1315, 1.3618)
Septem Golden Ale	3	0.8067	0.0635	(0.6915, 0.9218)
Fisher	3	1.5033	0.1270	(1.3882, 1.6185)
Amstel Kargo	3	1.9067	0.0635	(1.7915, 2.0218)

Pooled StDev = 0.0929670

Tukey Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
Amstel Kargo	3	1.9067	A
Fisher	3	1.5033	B
McFarland	3	1.2833	B C
Pilsner Urquell	3	1.2467	B C
Fix Dark	3	1.0633	C D
Septem Golden Ale	3	0.8067	D
Septem Pale Ale	3	0.000000	E

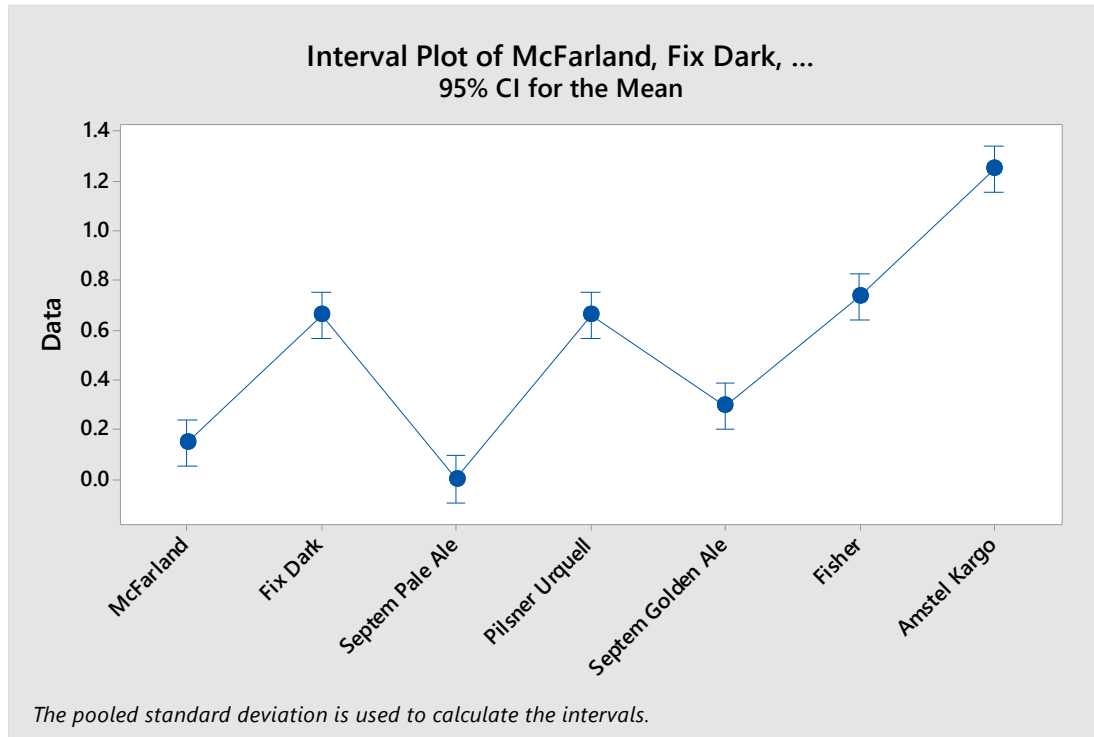
Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey Simultaneous 95% CIs

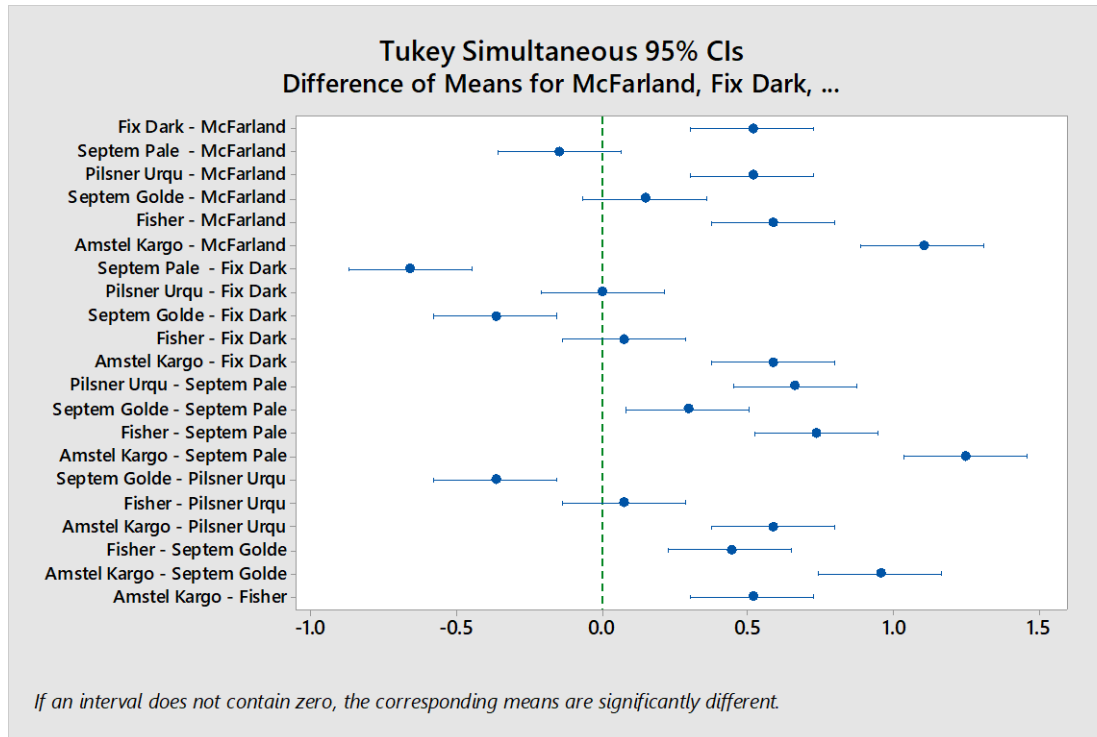
Interval Plot of McFarland, Fix Dark, ...

Οι ετικέτες στα 4 min κατατάχθηκαν σε πέντε κατηγορίες. Μεγάλη είναι η διαφορά της Fix Dark που υπέπεσε στην D κατηγορία, όπως ακριβώς και της Fisher που αναρριχήθηκε στην B.

9. Ύψος αφρού σε cm στο 5 min



Παρατηρείται ότι η Amstel Kargo κράτησε την πρώτη θέση στο διάγραμμα και μάλιστα με αισθητή διαφορά από την αμέσως επόμενη. Η ετικέτα με την μέση τιμή η οποία ήταν άξια προσοχής εδώ, ήταν η McFarland. Με μια απότομη πτώση βρέθηκε στην δεύτερη θέση από το τέλος. Οι υπόλοιπες σχεδόν διατήρησαν την θέση τους πάνω στο γράφημα.



Πέντε ζευγάρια ετικετών τοποθετήθηκαν στον παραπάνω πίνακα σε σημείο τέτοιο που τα όρια εμπιστοσύνης τους παρατηρήθηκαν πάνω στον άξονα του μηδενός. Αυτά ήταν τα Septem Pale Ale – McFarland, Septem Golden Ale – McFarland, Pilsner Urquell – Fix Dark, Fisher – Fix Dark και Fisher – Pilsner Urquell.

One-way ANOVA: McFarland, Fix Dark, Septem Pale Ale, Pilsner Urquell Septem Golden Ale Amstel Kargo, Fisher

Method

Null hypothesis All means are equal

Alternative hypothesis Not all means are equal

Significance level $\alpha = 0.05$
Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	7	McFarland, Fix Dark, Septem Pale Ale, Pilsner Urquell, Septem Golden Ale, Fisher, Amstel Kargo

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	6	3.21745	97.55%	3.21745	0.536241	93.07	0.000
Error	14	0.08067	2.45%	0.08067	0.005762		
Total	20	3.29811	100.00%				

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
0.0759072	97.55%	96.51%	0.1815	94.50%

Means

Factor	N	Mean	StDev	95% CI
McFarland	3	0.1467	0.0635	(0.0527, 0.2407)
Fix Dark	3	0.6600	0.1100	(0.5660, 0.7540)
Septem Pale Ale	3	0.000000	0.000000	(-0.093995, 0.093995)
Pilsner Urquell	3	0.6600	0.1100	(0.5660, 0.7540)
Septem Golden Ale	3	0.2933	0.0635	(0.1993, 0.3873)
Fisher	3	0.7333	0.0635	(0.6393, 0.8273)
Amstel Kargo	3	1.2467	0.0635	(1.1527, 1.3407)

Pooled StDev = 0.0759072

Tukey Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
Amstel Kargo	3	1.2467	A
Fisher	3	0.7333	B
Pilsner Urquell	3	0.6600	B
Fix Dark	3	0.6600	B
Septem Golden Ale	3	0.2933	C
McFarland	3	0.1467	C D
Septem Pale Ale	3	0.000000	D

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey Simultaneous 95% CIs

Interval Plot of McFarland, Fix Dark, ...

Σε αντίθεση με τα 4 min, εδώ υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες. Φαίνεται η πτώση της McFarland στην δεύτερη θέση πριν το τέλος, η οποία ανέβασε μια θέση όλες τις παραπάνω μπύρες. Η υπόθεση για την αλλαγή αυτής της κατηγορίας της εν λόγω ετικέτας, ήταν πως η πτώση της ήταν συνδεδεμένη με την βύνη κριθαριού από την οποία και αποτελούταν.

(!) ΠΡΟΣΟΧΗ : Για όσες από τις παραπάνω παρατηρήσεις – συμπεράσματα (που αφορούν όλη την στατιστική ανάλυση) δεν παρατέθηκε σαφής αιτιολόγηση, συνίσταται περαιτέρω μελέτη και έρευνα, ώστε να αποσαφηνιστεί κάθε κενό.

6.5 Οπτική Παρατήρηση και Σχολιασμός

McFarland

Συντέθηκε από βύνη κριθαριού (χαμηλότερης συνεισφοράς στην σταθερότητα του αφρού από την αντίστοιχη βύνη σιταριού) αλλά και από βύνες καραμέλας και σοκολάτας. Η βύνη καραμέλας ανήκει στην κατηγορία των Crystal βυνών και έχει ενισχυτική δράση στον αφρό. Η βύνη σοκολάτας ανήκει στις σκουρόχρωμες βύνες που συμβάλλουν στην σταθερότητα του αφρού λόγω των υψηλών επιπέδων μελανιδίνης, ενός πολυμερούς πρωτεΐνης που σχηματίζεται όταν συνδυάζονται σάκχαρα και οξέα. Θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως ένας ομοιόμορφος και οπτικά συμπαγής, σχεδόν μονοδιάστατος -και με κρεμώδη υφή- αφρός αλλά όχι τόσο ανθεκτικός. Η διάρκεια ζωής του κατά μέσο όρο διήρκησε μόλις $t = 319$ s, όπου ήταν στατιστικά ο δεύτερος χαμηλότερος χρόνος.

Στην ίδια θέση βρέθηκε και ο χρόνος ημιζωής του αφρού της McFarland με μέσο όρο $F/2 t = 126$ s.



McFARLAND (X3)

Fisher Pilsener

Ήταν η μπίρα με τον χαμηλότερο, σε ύψος, αρχικά αφρό, ωστόσο ήταν από τις ετικέτες που είχαν μέτρια προς μεγάλη διάρκεια. Αρκετά χαρακτηριστικό ήταν το χρώμα του αφρού που έτεινε στο λευκό. Ένας από τους λόγους που θα μπορούσε να δικαιολογήσει το αποτέλεσμα αυτό, είναι η βύνη κριθαριού από την οποία προέρχεται. Παράλληλα αξιοσημείωτη ήταν η ομοιομορφία του αφρού, όντας σχεδόν μονοδιάστατος με κυρίως μικρής διαμέτρου φυσαλίδες. Ωστόσο ο αφρός ήταν «αραιός» και όχι πυκνός και έδινε την αίσθηση πως η υφή του ήταν «υγρή», με σχεδόν ίσα καταμερισμένη την επιφάνεια του σε «λεία» και πιο «τραχιά» μορφή.



FISHER PILSENER(X3)

Fix Dark

Η μοναδική σκουρόχρωμη μπίρα της συλλογής μας αποτελούμενη από βύνη κριθαριού και ως γνωστόν, οι Dark Βύνες δρουν θετικά λόγω των Μελανιδίνων στην σταθερότητα του

αφρού. Πρόκειται για ένα χαρακτηριστικό που δικαιολογεί τον υψηλό μέσο όρο στον χρόνο ημιζωής με $F/2 t = 145.3 s$. Οπτικά ήταν ένας «κρεμώδης» αφρός που υποχωρούσε (κατά αναλογία της επιφάνειας) ομοιόμορφα. Επίσης θα μπορούσε να χαρακτηριστεί και ως πολυδιάστατος αφρός, αφού στο πάνω μέρος ήταν πιο «αραιός» με μεγαλύτερες σε μέγεθος φυσαλίδες, ενώ ήταν πιο πυκνός με μικρές φούσκες στο κάτω μέρος.

Συμπερασματικά όλων των παραπάνω, δικαιολογείται και το γιατί είναι και η ετικέτα με την μεγαλύτερη τιμή στον χρόνο ζωής του αφρού, με μέσο όρο $Lt = 415,3 seconds$.



FIX DARK(X3)

Septem Pale Ale

Η σύνθεση της συνολικής βύνης για την παραγωγή της Septem Pale Ale αποτελείται από την Marris Otter Pale – κριθαρένια βύνη και την σιταρένια βύνη Crystal, εκ των οποίων η δεύτερη όντας σιταρένια, ενισχύει την σταθερότητα του αφρού. Ο αφρός καθ' όλη την διάρκεια της ζωής του ήταν αραιός, σχεδόν μονοδιάστατος και αρκετά «εύθραυστος». Η εν λόγω μπίρα ήταν αυτή με την μεγαλύτερη αστάθεια αφρού και τον μικρότερο χρόνο ζωής του, με μέσο όρο $Lt = 198.3 seconds$. Αυτό το αποτέλεσμα θα μπορούσε να αποδοθεί στο γεγονός πως είναι μη παστεριωμένη και συνεπώς περιέχει ένζυμα που είναι υπεύθυνες για

την διάλυση των πρωτεϊνών. Επιπροσθέτως η Septem Pale Ale είχε και τον μικρότερο χρόνο ημιζωής με μέσο όρο $F/2 t = 65.5$ seconds.



SEPTEM PALE ALE(X3)

AMSTEL KARGO

Η Kargo έχει αλκοολικό τίτλο 5 % vol και αποτελείται από βύνη κριθαριού, η οποία δεν προσδίδει τα μέγιστα στην δημιουργία ενός πλούσιου αφρού. Επίσης αυτή η μπίρα είναι αφιλτράριστη, παρέχοντας έτσι περισσότερες ευκαιρίες για το αέριο να φουσκώσει και να αναδυθεί μέσα από το υγρό, δημιουργώντας έτσι περισσότερες «ευκαιρίες» δημιουργίας αφρού (περισσότερες θέσεις πυρήνωσης) και έτσι εξηγείται το αρχικό ύψος αφρού. Ένα άλλο πολύ ενδιαφέρον χαρακτηριστικό είναι πως παρατηρούμε το φαινόμενο dry hopping (προσθήκη λυκίσκων στην ζυμώμενη μπίρα για την ενίσχυση του αρωματικού της προφίλ). Κατά κανόνα το dry hopping αυξάνει το pH, ανάλογα με τον λυκίσκο και την θερμοκρασία. Συνεπακόλουθο της αύξησης του pH είναι η μείωση της σταθερότητας του αφρού. Ωστόσο

η χαμηλή θερμοκρασία του dry hopping σε συνδιασμό με την προσθήκη άλφα-οξέων συμβάλλουν στην βελτίωση της διατηρησιμότητας.



AMSTEL KARGO(X3)

SEPTEM GOLDEN ALE

Στην παραγωγή της Septem Golden Ale χρησιμοποιήθηκαν οι εξής βύνες : Crystal, Pale Ale και Pilsner, εκ των οποίων η Crystal είχε την σημαντικότερη συμβολή στον αφρό. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό αυτής της μπίρας, που μας προϋδέασε για το αποτέλεσμα ήταν ο πολύ ψηλός αλκοολικός του τίτλος 6.5 %. Η Septem Golden Ale είναι μια μη παστεριωμένη μπίρα (δηλαδή υφίσταται διάλυση πρωτεϊνών λόγω ύπαρξης ενζύμων) και ως συνέπεια αυτού ο χαμηλός χρόνος ζωής της, με μέσο όρο $t = 319.3 \text{ seconds}$. Ακόμα ένα στοιχείο που έχει αρνητική επίδραση στον αφρό της μπίρας αυτής είναι η ύπαρξη μελιού (πρόσθετα σάκχαρα), καθώς υφίστανται λιγότερες διαθέσιμες πρωτεΐνες για την παραγωγή του αφρού. Αυτό εξηγεί την κατώτερη ποιότητα του αφρού.



SEPTEM HONEY GOLDEN ALE(X3)

Pilsner Urquell

Η Pilsner Urquell είναι μια παστεριωμένη μπίρα, αποτελούμενη από βύνες κριθαριού. Αυτές θα μπορούσαν να δικαιολογήσουν τις τιμές τόσο στον χρόνο ημιζωής $F/2 t$ ($= 138.3$ s), όσο και στο χρόνο ζωής Lt ($= 333.6$ s). Ο αφρός θα μπορούσε επίσης να χαρακτηριστεί ως πολυμορφικός, αφού αποτελούταν τόσο από «υγρές» όσο και από εμφανώς πιο «ξηρές» φυσαλίδες στο σύνολό του. Χαρακτηριστική ήταν και η όψη του η οποία έδινε την εντύπωση μιας κρεμώδους υφής και το πυκνό «δέσιμο» που εμφάνιζαν μεταξύ τους οι φυσαλίδες. Συγκριτικά με την Fisher Pilsener, ενώ ο χρόνος ημιζωής τους κατά μέσο όρο βρίσκεται αρκετά κοντά, η Pilsner Urquell είχε μικρότερη συνολική διάρκεια.



PILSNER URQUELL(X3)

6.6 Συμπεράσματα

- Με την διεκπεραίωση του πειράματος, παρατηρήθηκε ότι η μπίρα με το υψηλότερο αρχικό ύψος είναι η SEPTEM GOLDEN ALE. Το γεγονός αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στο γεγονός ότι είναι παστεριωμένη καθώς επίσης σημαντικό ρόλο έπαιξε και η πρώτη ύλη, η οποία ήταν η βύνη κριθαριού. Με την πάροδο του χρόνου βλέπουμε μια ομοιόμορφη υποχώρηση του αφρού.
- Εν συνεχεία η Fix Dark, η οποία αποτελείται από dark βύνες (που περιέχουν επίπεδα μελανιδίνης) είχε έναν υψηλό μέσο όρο ημιζωής σε σχέση με τις μετρήσεις που έχουμε.
- Η Septem Pale Ale είναι η μπίρα με τη μεγαλύτερη αστάθεια αφρού και το μικρότερο χρόνο ζωής, με μέσο όρο 198,3 sec. Το αποτέλεσμα αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στη μη παστερίωση της μπίρας και συνεπώς περιέχει ένζυμα που

καταστρέφουν τις πρωτεΐνες. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το ότι από το 3^ο λεπτό και έπειτα, παρατηρούμε μηδενισμό του αφρού.

- Όσον αφορά την Pilsner Urquell, αν εξαιρέσουμε το αρχικό ύψος του αφρού της, όλες οι υπόλοιπες τιμές της ήταν κοντά στον μέσο όρο. Αυτό που ξεχώρισε ήταν η κρεμώδης όψη του αφρού της εν λόγω μπίρας.
- Η Mc Farland έχει τον δεύτερο χαμηλότερο χρόνο ζωής και για αυτό ευθύνεται η βύνη κριθαριού. που έχει χαμηλότερη συνεισφορά στην σταθερότητα και διατηρησιμότητα του αφρού. Όπως βλέπουμε και από το σχεδιάγραμμα παρουσιάζει την σημαντικότερη μείωση ανάμεσα στις μετρήσεις, το οποίο επιβεβαιώνει το παραπάνω συμπέρασμά μας.
- Η Fisher ενώ ξεκίνησε με το χαμηλότερο αρχικό ύψος του αφρού, αλλά όσον αφορά την διατηρησιμότητα εμφανίζει μεγάλη διάρκεια. Επίσης παρατηρήθηκε η ομοιότητα μεταξύ των φυσαλίδων του αφρού, που τον καθιστούν μονοδιάστατο.
- Η Amstel Kargo ενώ ξεκινάει έχοντας τιμή που πλησιάζει τον μέσο όρο, στο αρχικό ύψος του αφρού, παρατηρείται ότι από το δεύτερο λεπτό και έπειτα μένει σταθερά ψηλά στον μέσο όρο. Αυτό συνεχίζεται μέχρι και την τελευταία μέτρηση, όπου καταλήγει να έχει το υψηλότερο ύψος στα 5 λεπτά. Η πορεία αυτή του ύψους του αφρού κατά τη διάρκεια του χρόνου ζωής ευθύνεται στις crystal βύνες και στο φαινόμενο του dry hopping.

7) ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΠΗΓΕΣ

Πηγές:

- Blander, M., Adv. in Colloid and Interface Sei. 10:1 (1979).
- Niholas, P.A., Wilt, P.M., J. Colloid and Interface Sei. 123(1):296 (1988).
- Lubetkin, S., Blackwell, M., J. Colloid and Interface Sei. 26(2):610 (1988).
- Walstra, P., "Principles of Foam Formation and Stability." In: Focus on Foams. Ed: A.J. Wilson, Wiley and sons. (1989).
- Ward, C.A., Balakrishnan, A., Hooper, F.C., J. Basic Eng. 92:695 (1970).
- Ward, C.A., Tikuisis, P., Venter, R.D., J. Appl. Phys. 53(9):6076 (1982).
- Ward, C.A., Johnson, W.R., Venter, R.D., Ho, S., Forest, T.W., Fraser, W.D., J. Appl. Phys. 54(4):1833 (1983).
- Ward, C.A., Levart, E., J. Appl. Phys. 56(2) :491 (1984). Ward, C.A., Yee, D., Tikuisis, P., J. Appl. Phys. 58(1):273 (1985).
- Wilt, P.M., J. Colloid and Interface Sei. 112(2) :530 (1986).
- Derjaguin, B.V., Landau, L.D., ActaPhysicochimica USSR 14:633 (1941).
- Djabbarah, N.F., Wasan, D.T., AIChE J. 31(6):1041 (1985).
- Ivanov, I.B., Dimitrov, D.S., Somasundaran, P., Jain, R.K., Chem. Eng. Sei. 40(1):137 (1985).
- Ivanov, I.B., Jain, R.K., "Dynamics and Instability of Fluid Interfaces." In: Lecture Notes in Physics. Ed: T.S. Sorensen. Springer-Verlag. New York. pp. 121. (1979).
- Ivanov, I.B., Dimitrov, D.S., "Thin Film Drainage" In: Thin Liquid Films. Ed: I.B. Ivanov. pp. 379 (1989).
- Liem, A.J.S., Woods, D.R., Can. J. Chem. Eng. 52:222 (1974).
- Kann, K.B., Colloid J. 46(3):508 (1984).
- Malysa, K., Cohen, R., Exerowa, D., Romianowski, A., J. Colloid and Interface Sei. 80(1) :1 (1980).
- Radoev, P.B., Scheludko, A.D., Manev, E.D., J. Colloid and Interface Sei. 95(1):254 (1983).
- Rao, A.A., Wasan, D.T., Manev, E.D., Chem. Eng. Commun. 15:63 (1982).
- Reynolds, O., Phil. Trans. Roy. Soc. London A177:157 (1886).

- Scheludko, A., Kolloid Z. 155:39 (1957).
- Scheludko, A., Proc. Kon. Nederl. Akad. Wetensch. Ser. B65:87 (1962).
- Scheludko, A., Adv. Colloid and Interface Sci. 1:391 (1967).
- Van 'tRiet, K., Prins, A., Nieuwenhuijse, J.A., "Some Effects of Foam Control by Dispersed Natural Oil on Mass Transfer in a Bubble Column." Eur. Congr. Biotechnol. 3rd, Volume 3, Verlag Chemie: Weinheim, West Germany, pp. 521. (1984).
- Chris Colby (March 24, 2016) Beer Foam (Part 1: General) <https://beerandwinejournal.com/foam-1/>
- Chris Colby (March 31, 2016) Beer Foam (Part 3: Foam Positive Elements) <https://beerandwinejournal.com/foam-3/>
- How to improve beer foam (November 21, 2015) <https://www.lowcountrylibations.com/lclblog/2015/11/21/how-to-improve-beer-foam> Charles W. Bamforth, (August 13, 2008) Beer A Quality Perspective, Beer foam: achieving a suitable head $\sigma\epsilon\lambda$ (12-19)
- Chris Colby (March 30, 2016) Beer Foam (Part 2: Collapse) <https://beerandwinejournal.com/foam-2/>
- Chris Colby (May 11, 2016) Beer Foam (4: Foam Negative Elements) <https://beerandwinejournal.com/foam-4/>
- Charles W. Bamforth, (August 13, 2008) Beer A Quality Perspective, Beer foam: achieving a suitable head $\sigma\epsilon\lambda$ (25-27)
- <https://alcohol.stackexchange.com/questions/485/why-is-it-important-to-have-foam-on-a-beer>
- <https://beerandbrewing.com/the-physics-of-foam/>
- <https://beerandbrewing.com/dictionary/PoV1K8jeSb/4>
- <https://www.craftbeer.com/craft-beer-muses/the-science-behind-beer-foam>